
GARDEN
Septemb 1897
R W Gibson Invt

ARCHIVES

DES

SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

Société générale d'imprimerie, Pélisserie, 18

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

ARCHIVES

DES

SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

CENT SEIZIÈME ANNÉE

QUATRIÈME PÉRIODE

TOME TRENTE-DEUXIÈME

GENÈVE

BUREAU DES ARCHIVES, RUE DE LA PÉLISSERIE, 18

PARIS — H. LE SOUDIER — 174-176, Boul. St-Germain

LONDRES — DULAU & Cᵒ — 37, Soho Square

NEW-YORK — G. E. STECHERT — 9, East 16th Street

Dépôt pour l'ALLEMAGNE, GEORG & Cie, a Bale

1911

LA

STRUCTURE DES GRANDS CRISTAUX LIQUIDES

et leurs états d'équilibre moléculaire

PAR

O. LEHMANN

(Avec la planche I)

Conférence faite à la réunion de la Société suisse de physique
à Fribourg, le 13 mai 1911

L'équivalence de la chaleur et du mouvement, la diffusion, le mouvement brownien et bien d'autres phénomènes, nous obligent à admettre l'existence dans les corps liquides d'un état de mouvement intérieur invisible. Selon l'hypothèse habituelle, les molécules se meuvent de façon tout à fait désordonnée; mais, au moment de la solidification, elles s'ordonnent en un réseau régulier; elles forment un cristal. Parler des cristaux liquides est en contradiction avec cette théorie cinétique. Quelques savants estiment que *cristallin* et *solide* sont synonymes. Lorsque les noyaux de cristallisation sont absents, il se produit sans doute un surrefroidissement qui donne naissance à une substance amorphe qu'on nomme ordinairement solide; mais la transformation est continue, le désordre des molécules persiste et on se trouve ainsi contraint à admettre que ce corps amorphe est identique au corps liquide. Cette opinion (qui est sans doute en contradiction avec la définition de l'état solide qui n'accorde pas l'élasticité parfaite aux liqueurs, comme les corps amorphes en question la possèdent), exclut aussi l'existence des cristaux liquides. Mais les cristaux liquides existent, comme j'ai eu l'honneur de vous le montrer, il y a deux ans. Il y a des liqueurs dont on ne peut s'expliquer les propriétés qu'en admettant l'existence d'une force moléculaire directrice qui produit autant que possible et malgré l'état liquide, un arrangement parallèle

des molécules. Il faudrait donc admettre que dans les liqueurs de ce genre, la solidification ne consiste pas seulement dans l'orientation en parallèle des molécules; peut-être, pourrait-il s'agir d'un changement du genre d'agrégation des molécules, analogue aux modifications polymorphes; mais cette hypothèse est à rejeter : on peut facilement vérifier qu'un changement du genre d'agrégation des molécules des cristaux liquides ne produit pas un changement des propriétés essentielles (point de fusion, solubilité, etc.); même une agrégation tout à fait sans ordre (pseudoisotropie) ne produit pas, comme on pouvait l'attendre, la suppression de la faculté de croître, ce qui caractérise le passage à l'état amorphe. En contradiction avec la théorie habituelle des changements d'état, il faut admettre que la solidification consiste nécessairement dans un changement de la molécule elle-même. Dans le cas de la solidification cristalline, il y aurait séparation des molécules transformées à la température de saturation de la solution; dans le cas de cristallisation amorphe, il se produirait une augmentation continue du nombre des molécules transformées et qui correspondrait à l'augmentation du refroidissement. Les corps amorphes ne peuvent pas s'accroître comme les cristaux : ils ne sont pas des phases, parce qu'ils sont toujours constitués par le mélange de modifications différentes. Ces conséquences sont en contradiction avec la *théorie d'identité* fondée sur la règle d'Avogadro, admise par tout le monde; cette loi fondamentale de la physico-chimie nous dit : que, sauf de très rares exceptions, les molécules dans les différents états d'agrégation et de modification sont identiques. A cause de cette loi, l'existence des cristaux liquides a été souvent mise en doute et l'on a tenté d'expliquer ces phénomènes d'une autre manière. Ces divergences d'interprétation n'étonnent pas, lorsqu'on sait les difficultés qu'ont rencontrées les chercheurs dans l'observation, — au moyen du microscope à cristallisation que j'ai moi-même employé, — des cristaux liquides extrêmement petits et si sensibles au changement de température; de même l'observation immédiate du mouvement des ailes d'un oiseau qui vole ne donne pas non plus du premier coup, une idée claire du phénomène. La construction d'un microscope à cristallisation que je projetais depuis longtemps

et qui permettrait de faire les observations à température constante, exigeait plus de temps et plus de moyens que je n'en avais à ma disposition, elle était d'ailleurs superflue pour les premiers travaux que je poursuivais ; mais après l'achèvement des recherches qualitatives, j'ai dû construire cet instrument afin de pouvoir observer tranquillement et soigneusement ; je suis parvenu à lui donner une forme telle qu'on pouvait conserver longtemps et librement suspendus, des cristaux liquides relativement grands, les observer et les photographier de tous les côtés. Les préparations plongées dans un bain d'huile chauffée et agitée par une pompe centrifuge [1], qui se trouvent placées dans un « rotateur capillaire », c'est-à-dire dans un tube de verre capillaire de 1 mm. de diamètre, posé entre deux couvre-objets parallèles. Le tube peut être maintenu en rotation lente autour de son axe, à la main ou par un petit moteur électrique. La substance que j'ai tout d'abord observée avec le nouvel appareil, fut l'éther de l'acide paraazoxybenzoïque tel qu'on le trouve dans le commerce [2]. En observant soigneusement, on pouvait reconnaître que les formations petites et noueuses [3] qui apparaissent les premières (en employant le xylol comme dissolvant), sont des cristaux liquides normaux, savoir : des octaèdres déformés en squelette (fig. 1) ; ils n'atteignent qu'une grandeur de 0,1 de mm. puis les petites branches dirigées selon les axes secondaires s'enfoncent subitement et se fondent avec le tronc principal pour former autour de lui un coussinet arrondi (fig. 2) ; ce phénomène est évidemment dû à la tension superficielle qui tend, en arrondissant les arêtes et

[1] Voir O. Lehmann. Das Kristallisationsmikroskop. Braunschweig. Fr. Vieweg et Sohn, 1910, p. 72, fig. 44. Une nouvelle construction simplifiée, avec chauffage électrique, est en ce moment-ci en exécution.

[2] La préparation n'était pas aussi pure que celle de M. Vorländer, que j'ai autrefois étudiée. (*Ann. der Physik* **12**, 324, fig. 192, 1903.) Lorsque les circonstances étaient favorables (haute température de cristallisation, convenable épaisseur de la préparation, etc.), celle-ci se séparait en très longs prismes liquides, tout à fait droits, parcourant souvent tout le champ de vision, et semblables à la substance qu'a photographiée M. Vorländer. (*Zeitschr. f. phys. Chem.* **57**, 364, Taf. III, fig. 7, 1906.)

[3] Voir les photographies dans mon livre, Flüssige Kristalle, 1904, Taf. 3.

les sommets à produire la forme la plus voisine de la sphère. Le réseau régulier des molécules existant naturellement à l'origine est alors détruit [1], mais le produit obtenu est et reste un cristal, il conserve la faculté de croître, analogue en celà à un cristal anormal, courbé ou tordu, de nitrate d'ammonium ou de iodure d'argent [2]. Sans doute, dans les cristaux courbés, les éléments de volume extrêmement petits possèdent au moins une anisotropie normale (structure réticulaire) tandis que les éléments de volume des grands cristaux liquides sont des masses pseudo-isotropes et, comme telles, sont dues à l'action de la force adsorbante des surfaces du verre ou à l'action de la tension superficielle sur la couche de passage du liquide à l'air [3]; ces cristaux sont anisotropes parallèlement à l'axe principal, mais isotropes perpendiculairement à celui-ci.

A cause de cette propriété, MM. G. Friedel et F. Grandjean [4] proposent de nommer de tels corps « pseudocristaux ». Sans que je connaisse cette dénomination, je l'ai moi-même, en même temps, proposée (Verh. der d. phys. Ges. **13**, 338, 1911) ; mais je n'estime plus aujourd'hui cette dénomination utile, parce qu'il est facile de faire erreur et de croire que ces pseudocristaux à structure anormale ne sont pas des cristaux; je préfère maintenant les désigner sous le nom de cristaux demi-isotropes [5].

[1] Dans les masses qui ne sont pas suspendues librement, mais exposées à la force directrice des surfaces anisotropes voisines (Flüssige Kristalle, p. 58), le réseau cristallin peut être conservé sur une grande étendue.

[2] O. Lehmann, Die neue Welt der flüssigen Kristalle, p. 35, 149 et 154.

[3] Voir l. c., p. 196 et 371, note 1.

[4] G. Friedel et F. Grandjean. *Bull. Soc. min.* **33**, mai, déc. 1910.

[5] Peut-être existe-t-il des cristaux liquides totalement isotropes (holoïsotropes), comme je l'ai indiqué déjà dans mes premiers travaux (*Wied. Ann.* **40**, 401; **41**, 525, 1890). Si la force directrice moléculaire n'est pas suffisante pour orienter les molécules parallèlement à l'axe principal, et si leur agrégation devient absolument irrégulière, — comme on le supposait autrefois pour les corps solides amorphes et pour les liquides ordinaires, — le cristal liquide a cependant l'état cristallin, parce qu'il peut croître. De ces liqueurs complètement cristallines isotropes, aux liqueurs amorphes, il y a une transition continue; ces liqueurs dernières sont des mélanges de molécules différentes, et non pas des phases.

MM. D. Vorländer et A. Hauswaldt[1] ont émis l'opinion qu'on devait considérer les masses pseudo-isotropes comme des cristaux uniaxes, c'est-à-dire comme des cristaux normaux appartenant au système tétragonal ou au système hexagonal; en effet, ces cristaux montrent en lumière convergente, dans la direction de l'axe, entre nicols croisés, des anneaux colorés avec une croix noire comme le spath calcaire taillé perpendiculairement à l'axe; j'ai aussitôt protesté contre cette opinion[2] parce que les cristaux uniaxes ne possèdent que deux ou trois plans de symétrie par l'axe, tandis que les masses pseudoisotropes en possèdent un nombre infini. En effet, on peut facilement se convaincre, au moyen du nouveau microscope, que les masses qui croissent librement montrent seulement une coupe transversale circulaire et non pas quadratique ou hexagonale. Dans un tube capillaire en rotation, il se forme quelquefois, par la réunion de nombreux petits individus, de grands cristaux demi-isotropes complètement transparents et qui ont une épaisseur de 1 mm. et une longueur de plusieurs millimètres (fig. 3).

En les tournant entre nicols croisés, ils passent quatre fois dans toute leur étendue du clair au sombre, comme des cristaux solides biréfringents. Contrairement à une communication antérieure, la tension superficielle peut donc produire la jonction des cristaux liquides, mais elle est en général sans influence sur la formation de leur structure moléculaire. On peut se figurer un tel cristal demi-isotrope cylindrique avec les extrémités pointues, comme formé de petits bâtonnets qui restent en tous points parallèles à la direction de leur longueur même aux extrémités pointues: mais ce cristal reste sombre, lorsque, dans un champ non éclairé, on l'éclaire de côté avec une lumière intense; il n'est donc pas du tout hétérotrope.

En l'observant en lumière polarisée, le cristal paraît incolore et seulement faiblement ombré, si la petite diagonale du nicol coupe l'axe du cylindre; si elle est parallèle à l'axe, au contraire, le cristal paraît rouge-jaune et fortement ombré; il pre-

[1] D. Vorländer, *Ber. d. d. chem. Ges.* **41**, 20, 33, 1908, u. *Acta nova.* Halle a. S. **90**, 107, 1909.

[2] O. Lehmann, *Ber. d. d. chem. Ges.* **41**, 378, 3, 1908, et Die neue Welt der flüssigen Kristalle. Leipzig, 1911, p. 196.

sente des contours nettement visibles, car la différence des indices de réfraction du cristal et de la solution qui l'entoure, est considérable.

On n'obtient de tels cristaux liquides demi-isotropes parfaitement homogènes que dans des conditions suffisamment favorables : en maintenant le tube capillaire constamment en rotation, on fait alternativement se dissoudre, puis se reformer en croissant un grand cristal qui prend naissance par la réunion de petits individus ; par des chocs contre les parois du tube, on amène toutes les molécules à devenir parallèles [1]. Si l'on ne pratique pas cette précaution, des perturbations moléculaires causées par la jonction de deux cristaux produisent des complications optiques correspondantes. MM. G. Friedel et F. Grandjean qui ne pouvaient se servir du nouveau microscope, n'ont jamais pu observer des cristaux liquides parfaits et furent amenés à dire que leur extinction complète était impossible.

Les perturbations moléculaires qui ne disparaissent pas et présentent au contraire un état d'équilibre stable sont les mâcles (voir l. c. p. 232) et les perturbations coniques. Le premier cas se produit lorsque deux cristaux se joignent ensemble à angle droit (fig. 4). La force moléculaire directrice manque, les molécules sont en équilibre, quoique, — comme le dichroïsme en lumière polarisée le montre immédiatement, — elles ne soient pas dirigées parallèlement.

De tels mâcles peuvent aussi prendre naissance sans qu'il y ait jonction de deux individus ; ainsi, un cristal ordinairement homogène qui devient plus mince en se dissolvant, subit l'action de la tension superficielle qui tend à le rapprocher le plus possible de la forme de la sphère. L'une des deux extrémités du cristal s'incline subitement et se place perpendiculairement au tronc principal (fig. 5). Souvent elle tourne encore de 90° et se joint de nouveau au tronc principal ; la longueur du cristal est raccourcie ; la forme obtenue se rapproche encore plus de celle de la sphère.

Les perturbations coniques de la structure peuvent être aperçues sous la forme d'un cône double qui paraît suspendu (fig. 6)

[1] Voir O. Lehmann, Die neue Welt der flüssigen Kristalle, p. 183.

dans les cristaux transparents : ce cône paraît très sombre en lumière polarisée (fig. 7) ou disparaît complètement, sauf l'axe et le contour circulaire de la base (fig. 8). Le dichroïsme nous fait reconnaître que les molécules de la base du cône double sont placées radialement et perpendiculairement à l'axe; par contre elles sont d'autant plus inclinées sur la base qu'elles sont plus rapprochées du sommet (fig. 9 et 10). Comme l'on peut, malgré la nature fluide de la masse, conserver ces perturbations très longtemps, nous admettons qu'elles présentent un état particulier d'équilibre des molécules, qui n'est pas influencé par la tension superficielle. Des perturbations analogues formées par la moitié d'un cône double peuvent apparaître à la surface du cristal (fig. 11) en nombre et en arrangements multiples (lorsque par exemple les parties du cristal sont déplacées, l'une par rapport à l'autre, de la moitié de leur largeur) et former ainsi de magnifiques ornements.

La forme octaédrique ou cylindrique des cristaux liquides, comme aussi la forme biconique des perturbations moléculaires, sont en contradiction avec la définition adoptée jusqu'à maintenant de l'état liquide, définition qui ne reconnaît pas pour les liqueurs l'existence d'une forme définie. Il est probable que par suite de la semblable direction des molécules, l'attraction et les chocs moléculaires prennent suivant les directions différentes, des valeurs différentes ; ainsi l'équilibre ne peut exister que si la forme et la structure sont bien celles que l'on observe. Si l'on essaie de les troubler par déformation ou par division ou par copulation d'un cristal avec d'autres, l'état premier d'équilibre se rétablit toujours automatiquement : mais si d'autres forces interviennent, par exemple si un cristal liquide se joint avec une goutte isotrope ordinaire ou avec une bulle d'air, il résulte un nouvel état d'équilibre ; ainsi une bulle d'air peut s'entourer d'une mince peau fluidocristalline où le dichroïsme nous révèle, que partout les axes des molécules sont dirigés perpendiculairement à la surface. Les formes dites myéliniques[1] ont une origine semblable : elles sont dues, en forme cylindrique, au concours de la force de formation du cristal et de la

[1] Voir O. Lehmann. Die scheinbar lebenden Kristalle. Esslingen 1907, et *Biolog. Centralblatt*, 28, 481, 1908.

tension superficielle de la goutte isotrope : elles contiennent à l'intérieur un mince canal rempli du liquide isotrope. Les cristaux peuvent naturellement croître, dans leur solution sursaturée, comme les autres cristaux, mais cet accroissement ressemble plus à celui des organismes qu'à celui des cristaux ordinaires ; les molécules qui viennent s'ajouter au cristal ne restent pas seulement à sa surface mais sont poussées vers l'intérieur par la tension superficielle, comme les petits cristaux qui se rejoignent refoulent les molécules qui sont en contact.

Lorsque la tension superficielle est petite, comme c'est le cas lorsque les cristaux liquides sont en contact avec leur solution, elle ne peut pas troubler l'arrangement des molécules. On peut le vérifier sur les grands cristaux liquides demiisotropes de l'éther de l'acide parabenzoïque en les chauffant jusqu'au voisinage de leur température de transformation en liqueur isotrope. Un cristal solide dans les mêmes conditions ne fond qu'à sa surface ; un cristal liquide qui, dans le voisinage de son point de fusion, contient déjà la modification liquide [1] isotrope fond aussi à l'intérieur. On remarque partout et principalement aux axes ou, selon le cas, aux anneaux, la naissance de gouttes isotropes nombreuses produisant des perturbations moléculaires coniques. (fig. 12). La tendance des cristaux à se purifier automatiquement [2] fait que les impuretés s'accumulent aux axes et anneaux et y produisent une dépression du point de fusion ; ensuite la fusion isotrope commence là par la formation de ces gouttes isotropes. Ces gouttes sont allongées dans la direction de l'axe [3] et non pas exactement sphériques. Elles augmentent rapidement et se joignent ensemble, à moins qu'elles n'atteignent la surface où elles éclatent, c'est-à-dire où elles sont expulsées. Assez souvent, il peut se former à l'intérieur d'un cristal liquide une seule goutte isotrope grande qui remplit tout l'espace ; en sorte que le liquide cristallin ne forme plus que la mince enve-

[1] L'accroissement de la plasticité de la glace vers son point de fusion indique que les cristaux de glace sont déjà des cristaux mixtes avec de l'eau.

[2] Voir O. Lehmann, *Die Umschau* **14**, 950, 1910 et *Physik. Zeitschr.* **11**, 44, 1910.

[3] Voir aussi dans mon livre, Flüssige Kristalle, tab. 1, fig. 3, les photographies des cristaux d'oléate d'ammonium et des figures de corrosion qu'ils contiennent.

loppe de la goutte. Si la paroi se perce en un point, l'enveloppe se contracte aussitôt et forme un cristal normal, de même que l'enveloppe d'une bulle de savon qui éclate, se contracte en un globule sphérique.

Ordinairement les gouttes isotropes produisent, comme nous l'avons déjà mentionné, des perturbations coniques dont les axes ont la direction de l'axe du cristal ; on voit alors le cristal rempli de cônes doubles parallèles, contenant au centre la goutte isotrope. Lorsque des gouttes isotropes à petites perturbations coniques, se forment à l'intérieur de grandes perturbations coniques. la direction des cônes doubles fait distinctement reconnaître la structure moléculaire des grands cônes. En outre, il arrive que dans l'absence de gouttes, les grands cônes doubles se divisent en cônes minces, presque linéaires, qui apparaissent, particulièrement en lumière polarisée comme un fin rayonnement surtout dans les demi-bicônes à la surface (fig. 13). Un tel rayonnement donne une très claire image de la structure moléculaire dans les endroits perturbés.

La structure des cristaux liquides *sans force de formation* qui, librement suspendus, sont comprimés [1] par la tension superficielle en gouttes cristallines sphériques, peut être étudiée avec le nouveau microscope beaucoup plus facilement qu'il n'était possible de le faire jusqu'ici. La préparation la plus propre à cette étude est le paraazoxyanisol avec la pipérine et un peu de colophane [2].

Autrefois l'étude de ces gouttes de cristal était extrêmement difficile, parce que les gouttes les plus grandes s'appliquaient

[1] Comme l'orientation des molécules dans les gouttes change point par point, on voit en éclairant de côté l'effet Tyndall, c'est-à-dire que les gouttes apparaissent éclairées sur fond noir.

[2] En supprimant ces dissolvants, on obtient naturellement des masses cohérentes fluido-cristallines. On y observe des filaments noirs (fig. 14), qui s'étendent et se contractent jusqu'à disparition, lorsque la masse liquide se déplace ; ces filaments sont probablement de fins canaux remplis d'impuretés provenant de la faculté des cristaux, que nous avons déjà mentionnée, de se purifier eux-mêmes. Ils peuvent causer des perturbations moléculaires, parce que les molécules avoisinantes sont contraintes par la tension superficielle à prendre un arrangement concentrique ; aussi loin que s'étendent ces perturbations, ces fils apparaissent environnés de cours ou filandres.

aux parois du verre en se déformant et que seules les plus petites étaient librement suspendues aux points où le liquide était en mouvement tourbillonnant; elles se présentaient donc à l'observation, dans des positions toujours changeantes [1].

Grâce au nouveau microscope, il est donc possible de conserver, suspendues librement, de grandes gouttes de cristaux liquides ayant jusqu'à 1 mm. de diamètre pendant le temps nécessaire à l'observation et à la photographie, comme aussi de les orienter à volonté dans toutes les positions. Les reproductions publiées autrefois sont exactes seulement pour les positions principales I et II, mais non pour les positions intermédiaires; les figures 15 *a-g* montrent ces différentes vues. En tournant la goutte de la position principale I autour d'un axe qui la traverse, l'axe symétrie, qui sur la photographie est réduit à un point, prend la forme d'un petit arc qui marche du côté correspondant au sens de rotation, à droite ou à gauche. pendant que les deux extrémités dont l'une est naturellement située au-dessus et l'autre au-dessous, reste dans la ligne médiane; en même temps, la bordure qui limite la goutte devient plus mince du côté vers lequel marche l'arc, et plus épaisse du côté opposé; dans cette position intermédiaire la goutte paraît alors asymétrique. Si l'on continue à tourner jusqu'à la position principale II, l'arc marche jusqu'au bord de la goutte et la bordure se forme en fuseau au centre; l'apparence devient de nouveau symétrique et les deux bords ne montrent plus de renflements et sont exactement identiques. En continuant à tourner, le fuseau marche de même façon de l'autre côté, en prenant la forme de faucille, pendant qu'un filament courbé noir se sépare du bord du côté opposé; ce fil se courbe de plus en plus et devient un point au centre de la goutte quand la position principale I est de nouveau atteinte. La conclusion que Vorländer a tiré de ses observations que la substance est

[1] MM. G. Friedel et F. Grandjean (l. c.) furent ainsi amenés à admettre que toutes les gouttes de cristal sont « en réalité plates et extrêmement minces par rapport à leur diamètre ». Les photographies publiées dans mon livre, Flüssige Kristalle, représentent des gouttes réellement aplaties, parce que l'exposition des préparations de couleur jaune étaient trop longues pour pouvoir reproduire des gouttes suspendues librement, en mouvement.

uniaxe, est en contradiction avec les phénomènes qui viennent d'être décrits : de même sa conclusion secondaire soutenant que les substances fluidocristallines, qui apparaissent comme des masses pseudo-isotropes, sont optiquement uniaxes, est directement en opposition avec le résultat de mes études sur le paraazoxyphénétol : cette substance appartient plutôt au système monosymétrique [1], quoiqu'elle puisse former des masses pseudo-isotropes, lorsqu'on lui ajoute un peu de l'éther de l'acide paraazooxycynamique [2].

On peut obtenir des cristaux liquides étendus avec des molécules parallèles [3] sur lesquelles on peut, comme sur les cristaux solides, exécuter des études optiques pour la détermination du système cristallographique, en faisant agir des forces directrices extérieures. Ainsi on peut introduire la masse fluido cristalline dans une fine fente récemment taillée dans une lame de mica et dont les molécules ont une influence directrice ; ou encore, entre des lames de verre très propres, posées l'une sur l'autre ; si ces lames ont auparavant servi de support pour la formation de cristaux solides, leur surface a subi une transformation [4] qui fait qu'elles peuvent exercer une action directrice. MM. G. Friedel et F. Granjean n'ont pas réussi à répéter ces observations, parce que, peut-être, leurs substances n'étaient pas assez pures ou qu'ils aient ajouté de la colophane. Les études très détaillées et très soigneuses de M. Ch. Maugin [5] ont complètement confirmé mes résultats. En outre comme je l'ai déjà mentionné [6] ces phénomènes peuvent ne pas apparaître dans les préparations pures, si l'arrangement des molécules est troublé par le déplacement des deux verres qui la contiennent. En appliquant une lentille comme couvre-objet, on peut se rendre

[1] O. Lehmann, *Ann. der Physik*, **2**, 671, 678, 689, 1900.

[2] O. Lehmann, *Ann. der Physik* **19**, 441 et **21**, 190, 1906 ; ainsi que « Die scheinbar lebenden Kristalle », Esslingen, 1907, p. 35, fig. 49.

[3] L. c. t. dans le livre, Flüssige Kristalle, Leipzig, 1904, p. 58.

[4] On peut expliquer cet effet, soit par un changement de position ou de qualité des molécules du verre, soit en admettant qu'il reste par l'adsorption, une mince couche de molécules, de la modification solide, que la fusion ne parvient pas à éliminer.

[5] Ch. Maugin, *Compt. rend.* **151**, 886, 1910.

[6] O. Lehmann, Die neue Welt der flüssigen Kristalle 222, note 2.

compte très facilement de ce qui doit se produire et ainsi vérifier la théorie. En donnant par bonds, un court mouvement de rotation au porte-objet, si l'on emploie très peu de substance, on peut facilement, en raison de l'inertie de la lentille, lui donner une légère torsion contre le porte-objet. Aux endroits qui ne sont pas très voisins du centre, ce déplacement peut être regardé comme parallèle; on voit alors, aux points où les surfaces supérieures et inférieures de la préparation coïncident des phénomènes optiques identiques à ceux de la préparation inaltérée; les molécules subissent toutes ensemble et séparément les déplacements causés par les forces exercées sur les surfaces du verre. Dans les endroits où les surfaces inférieures et supérieures ne sont pas formées par des molécules ayant la même orientation, il naît des déformations continues et l'orientation dans les couches intermédiaires va de l'une des directions à l'autre; il se forme alors des combinaisons analogues aux lames de mica de Reusch. Entre nicols croisés, on n'obtient pas l'extinction, mais elle se produit pour une position qui correspond à la rotation du plan de polarisation. En lumière polarisée on observe à cause du dichroïsme, une division en champs, qui correspondent à la face supérieure de la préparation si le nicol est placé au-dessus, à la face inférieure, si le nicol est placé au-dessous; dans chaque cas on ne voit, de l'arrangement des champs de la face opposée, que les contours; la coloration particulière du champ correspondant au dichroïsme, manque. On peut facilement se convaincre de ce phénomène en levant ou en abaissant le tube du microscope et en mettant au point, soit sur la face supérieure, soit sur la face inférieure.

Cette règle a une grande importance pour l'éclaircissement de la structure des cristaux liquides; par exemple, si l'on analyse de cette manière les perturbations moléculaires semibiconiques des cristaux liquides de l'éther de l'acide parabenzoïque, on peut toujours facilement reconnaître lesquelles de ces perturbations se trouvent à la face supérieure ou à la face inférieure. Des gouttes de cristal de paraazoxyphénétol ou de paraazoxyanisol dans la position principale I ne montrent pas de cadrans blancs et jaunes symétriquement disposés par rapport aux diagonales des nicols; la règle s'applique dans l'une et

dans l'autre position, soit que le nicol soit placé au-dessus ou au-dessous de la substance (fig. 16, *a*, *b*). Nous sommes obligés d'admettre que la symétrie correspond au système monosymétrique, car les gouttes apparaissent dans la position principale II, incolores et presque invisibles lorsque la petite diagonale du nicol est parallèle à l'axe du fuseau (fig. 16, *d*); mais jaunes et fortement ombrées lorsqu'elle est placée transversalement (fig. 16, *c*).

L'arrangement des molécules dans la moitié supérieure de la goutte est en sens contraire de l'arrangement dans la moitié inférieure. Dans les circonstances les plus favorables la goutte paraît très nettement divisée par un plan équatorial (fig. 17) (surtout lorsqu'on ajoute de l'azobenzol). Cette addition produit une perturbation de la structure moléculaire telle que les molécules situées des deux côtés du plan équatorial ne restent plus exactement parallèles.

L'addition de colophane produit de très grandes perturbations; normalement les molécules sont placées dans des plans verticaux par rapport à l'axe de symétrie; lorsqu'on ajoute de la colophane, cette disposition ne demeure possible, et encore de façon incomplète, qu'au voisinage de l'axe de symétrie; il s'ensuit que l'axe de symétrie ne reste plus droit, mais se courbe en forme de U, de telle manière que ses deux extrémités se trouvent du même côté de la goutte, l'une près de l'autre (fig. 18)[1].

En augmentant la colophane, la torsion des branches augmente et elles se courbent plusieurs fois[2]. Lorsque la goutte étudiée se trouve dans une position pour laquelle les deux extrémités du fil courbé et tordu se trouvent au centre de la face supérieure, elle paraît contenir, lorsqu'on l'observe dans la couche d'au-dessus, un filament en spirale (fig. 19). Vue de côté, la goutte apparaît assymétriquement lamellée (fig. 20). Si l'on fait tourner la goutte autour d'un axe perpendiculaire aux couches, celles-ci se déplacent de l'une à l'autre extrémité

[1] En lumière polarisée, les deux paires de cadran apparaissent tous deux au-dessus, ou tous deux au-dessous.

[2] Souvent les branches tordues ressemblent à des incisions obliques faites à la scie dans une sphère.

de l'axe selon le sens de la rotation (fig. 21). Si le fil est plusieurs fois tordu (fig. 22), on voit les nombreuses couches correspondant aux diverses branches (fig. 23, 24 et 25). Dans le tube capillaire en permanente rotation, on peut obtenir des colonnes de liquide cristallin d'une longueur de plusieurs millimètres, apparemment rangées en couches, et qui ne sont qu'un seul individu cristallin (fig. 26) ; mais ordinairement ces colonnes sont des combinaisons de plusieurs individus, qui se joignent ensemble par les faces où se trouvent les extrémités de l'axe de symétrie tordu ou par les côtés opposés à cet axe (fig. 27) ; quelquefois les couches paraissent être cylindriques (fig. 29) et concentriques en coupe transversale (fig. 28). Le nombre de ces couches apparentes, dans de telles gouttes de cristaux lamellés, peut devenir si grand et leur épaisseur être si petite, que les couches ne sont plus visibles même avec un grossissement de mille fois [1]; même dans ce cas, la goutte entière peut être formée d'un seul individu.

Lorsqu'on chauffe. il se forme dans l'intérieur des gouttes lamellées des gouttelettes isotropes. la structure moléculaire n'en est pas troublée; cela nous montre que la faible tension superficielle est insuffisante pour changer l'arrangement des molécules. Mais s'il se forme une bulle de gaz ou de vapeur, les couches s'orientent perpendiculairement à la surface des bulles, parce que dans ce cas la tension superficielle est plus grande. Ce fait nous apprend aussi que dans les corps liquides, l'orientation des molécules vers une position d'équilibre est possible, sans coopération de la tension superficielle, et même qu'il existe un équilibre stable qui se rétablit automatiquement après chaque perturbation.

Si l'on essaie d'expliquer ce phénomène sur la base de l'hypothèse la plus simple, qui est l'acceptation de la matière continue, l'on rencontre de singulières difficultés. Si la liqueur anisotrope était homogène, on pourrait la supposer divisée en éléments de volume qu'il serait possible de déformer (par exemple d'étirer en longues bandes), lorsqu'on produit l'exacte structure des gouttes de cristal ou des perturbations biconiques; le cas se produirait de même pour la torsion d'une plaque flot-

[1] Voir O. Lehmann, Flüssige Kristalle, 1904, Tafeln 31-34.

tante, au moyen d'un axe fixé en son centre, qui ne nous donnerait point du tout la torsion attendue, mais qui, au contraire, tendrait, à cause de l'homéotropie spontanée, à conserver la structure primitive. Pour expliquer cette action, il faudrait admettre l'existence de forces régulièrement réparties à la surface des éléments de volume et dont l'effet serait toujours de rétablir l'arrangement parallèle des éléments. Le calcul nous apprend que dans un seul cas un tel système de forces peut exister : c'est lorsqu'on donne aux éléments de volume la grandeur des molécules, et non pas la grandeur de différentielles infiniment petites ou quelconques : il devrait donc être possible, en principe, d'arriver par l'étude des cristaux liquides à prouver exactement l'existence des molécules et d'en reconnaître quantitativement la grandeur et d'en étudier les forces.

Même si la solution de ce problème n'aboutissait pas, il résulterait de ces recherches un grand progrès dû à la destruction des hypothèses qui ne sont pas d'accord avec l'existence des cristaux liquides : la théorie deviendrait plus élevée et plus exacte. D'ailleurs, en faisant même abstraction de toute théorie, les expériences faites par l'observation des cristaux liquides peuvent être directement utilisées par la physique, la chimie, la technique et la biologie.

Karlsruhe, 9 mai 1911.

SUR LES ÉQUATIONS DE L'ÉLECTRODYNAMIQUE

telles que Maxwell les a établies

PAR

L. DE LA RIVE

J'ai relu récemment une lettre qui m'était écrite par Potier, l'éminent professeur de physique à l'Ecole Polytechnique de Paris, dans laquelle, à propos d'un mémoire bien connu de Hertz sur les équations fondamentales de l'électrodynamique, il analysait succinctement les déductions qui ont permis à Maxwell de les établir. J'ai repris moi-même ce travail de recherches rétrospectives qui, portant sur la conception mathématique géniale des phénomènes électriques déduite des vues de Faraday, n'est pas sans intérêt. Le chemin suivi par Maxwell semble souvent tortueux et présente un mélange inattendu de principes abstraits représentés par une formule mathématique et de données expérimentales acceptées d'une manière absolue, guidé qu'il a été par une logique d'ordre supérieur. Je m'en réfère, dans ce qui suit, à la traduction en français du Traité d'électricité et de magnétisme [1], par l'indication du paragraphe et de la page.

Définition. L'intensité électrique résultante en un point est la force qui agirait sur un petit corps chargé de l'unité d'électricité positive, s'il était placé en ce point sans troubler la distribution actuelle de l'électricité. Cette force tend non seulement à mouvoir un objet chargé d'électricité, mais encore à déplacer l'électricité dans ce corps. C'est pourquoi on appelle cette résultante, R, *intensité électromotrice* au point, x, y, z.

[1] *Traité d'électricité et de magnétisme* par J. Clerk Maxwell, traduit, sur la deuxième édition, par G. Seligmann-Lui, avec notes par MM. Cornu, Potier et Sarrau. 1889.

Si le corps est un diélectrique, l'électricité y est déplacée et la quantite d'électricité qui est chassée dans la direction de R, dont la valeur numérique sera désignée par E, à travers l'unité de surface comptée normalement à E est [T. I., § 68, p. 79] :

$$D = \frac{1}{4\pi} KE$$

où D est le déplacement, E l'intensité électrique, K le pouvoir inducteur spécifique du diélectrique.

L'équation de Poisson et le déplacement. En restant dans le domaine de l'électricité statique, nous trouvons l'équation de Poisson [§ 77, p. 94] :

$$\frac{dX}{dx} + \frac{dY}{dy} + \frac{dZ}{dz} = 4\pi\varrho$$

et [§ 101, p. 150] cette même équation mise sous la forme

$$\varrho = \frac{df}{dx} + \frac{dg}{dy} + \frac{dh}{dz}$$

En s'en référant à ce qui précède, X, Y, Z, sont les composantes de R, f, g, h, celles de D, et ϱ la densité électrique. Je remarque ici que c'est la valeur de ϱ donnée par l'équation de Poisson qui provoque la définition de D, afin que f, g, h, soient définis comme ci-dessus. Si cette notion du déplacement n'a pas une signification physique précise, il faut noter que, si f, g, h, sont les composantes d'une vitesse de déformation dans un milieu continu, ϱ devient la dilatation en ce point du milieu.

Application de l'équation de Lagrange aux mouvements électrocinétiques. Pour retrouver la force électromotrice, non plus à l'état de force statique, mais actionnant le mouvement de l'électricité dans le courant, il faut en venir aux chapitres V, VI et VII de la quatrième partie où est exposée la théorie des mouvements électrocinétiques. Après avoir montré que l'énergie électrodynamique peut être réduite à celle qui s'exprime par la somme des carrés de vitesses y'^2_1, y'^2_2 est de leurs produits deux à deux tels que $y'_1 y'_2$, etc., Maxwell formule la valeur de l'énergie T par l'expression [T. II, § 598, p. 257].

$$T = \frac{1}{2} L_1 y'^2_1 + \frac{1}{2} L_2 y'^2_2 \dots + M_{12} y'_1 y'_2 + \dots$$

Les y sont les variables de Lagrange définissant la position de l'électricité dans les circuits considérés A_1, A_2, etc et les déri-

vées des y par rapport à t sont les y' qui sont par conséquent les vitesses, la vitesse étant la même pour toutes les particules électriques d'un même circuit et proportionnelle à l'intensité du courant. En différenciant T par rapport à t on obtient p (p_1, p_2, etc.) qui est la quantité du mouvement électrocinétique du circuit.

$$p_1 = L_1 y'_1 \; M_{12} y'_2 + \text{etc.}$$

Cette définition est conforme à la même notion dans la mécanique matérielle, mv, qui est la dérivée par rapport à t de l'énergie $mv\ ^2/_2$. Par l'application de l'équation de Lagrange. on trouve pour la force Y' qui tend à augmenter la variable y.

$$Y' \quad d.\frac{\frac{dT}{dy}}{dt} - \frac{dT}{dy}$$

Et, comme T ne renferme pas la variable y mais seulement sa dérivée, le second terme est nul,

$$Y' = \frac{dp}{dt}$$

C'est la *force électromotrice* cinétique ou l'augmentation par unité de temps de la quantité de mouvement. Prise en signe contraire elle devient la force due au ralentissement de la masse qui agit sur d'autres masses, c'est-à-dire la force d'induction électromagnétique. Dans le circuit même la force électromotrice de la pile E doit être équivalente à chaque instant ou produit de l'intensité par la résistance R auquel s'ajoute cette force d'où [p. 258].

$$E = Ry' + \frac{dp}{dt}$$

Une comparaison peut rendre cette analyse plus tangible. Supposons des petites masses animées de vitesses longitudinales dans deux tubes A_1, A_2 auquels nous assimilons les circuits, et entretenues par des forces spéciales. Admettons que par un mécanisme de liaison, chaque tube exerce sur ses molécules une réaction analogue à la tension d'un ressort tendu par le mouvement des masses à la façon d'un frottement et de plus que le mouvement dans A_2 influe sur celui dans A_1. Admettons aussi qu'à un moment donné la vitesse de toutes les masses soit la même dans chacun des tubes ; alors la dérivée dp_1/dt prise en

signe contraire est la somme de la réaction du tube A_1 et de l'action du tube A_2.

Expression ampérienne de la force électromotrice. Continuant à suivre Maxwell, il va trouver une expression purement géométrique de cette même force électromotrice agissant en tous les éléments d'un circuit. Considérant un circuit secondaire i_2 et l'action électrodynamique d'un circuit primaire i_1 qui s'exprime par $p = Mi_1$, il suppose i_1 constant et fixe de position, de manière que p ne dépend que de la forme de i_2. On peut alors décomposer l'action totale en actions élémentaires, d'où [T. II, § 585, p. 264].

$$M = \int J\, ds$$

De là, par les considérations employées par Ampère, on trouve

$$J = F\frac{dx}{ds} + G\frac{dy}{ds} + H\frac{dz}{ds}$$

ce qui est la valeur de la composante suivant ds d'un vecteur F, G, H ; d'où

$$p = \int \left[F\frac{dx}{ds} + G\frac{dy}{ds} + H\frac{dz}{ds} \right] ds$$

c'est la quantité de mouvement électrocinétique le long d'un contour des éléments ds, dans le champ de i_1. Appliquant enfin le théorème de Stokes à cette intégrale de contour, il obtient

$$p = \int \left[l \left(\frac{dH}{dy} - \frac{dG}{dz}\right) + m \left[\frac{dF}{dz} - \frac{dH}{dx}\right] + n \left[\frac{dG}{dx} - \frac{dF}{dy}\right] \right] d\sigma$$

intégrale de surface limitée au contour précédent, où l, m, n, sont les cosinus directeurs de la normale à la surface, et il désigne par a, b, c, les trois facteurs entre parenthèses, sous le signe intégral [§ 591, p. 268].

Ici se place une identification importante relative à ces quantités. [§ 592, p. 268]. « Nous avons déjà vu [§ 490, 541] que suivant la théorie de Faraday, la force électromagnétique dans un circuit dépend de la variation du nombre de lignes d'induction magnétique passant dans ce circuit. Or l'expression mathématique du nombre de ces lignes est l'intégrale de surface de l'induction magnétique à travers la surface et nous devons donc considérer le vecteur a, b, c, comme représentant ce que nous connaissons déjà sous le nom *d'induction magnétique* ».

Rappelons ici que l'induction magnétique et la force magnétique ne diffèrent que dans l'intérieur des masses magnétiques elles-mêmes et que dans les considérations dont il s'agit ici on pourrait les considérer comme identiques. Elles sont reliées dans le cas de l'intérieur d'un aimant par la relation :

$$a = \mu a \ldots \text{ etc.}$$

Maxwell conserve la généralité de ses équations en conservant le facteur μ, la perméabilité, qui devient égal à l'unité dans le cas d'un corps non magnétique.

Forme définitive de la force électromotrice. Venons-en à l'expression de la force électromotrice qui résulte de ce qui précède [§ 598]. Pour cela reprenant pour p sa valeur,

$$p = \int \mathrm{F}dz + \mathrm{G}dy + \mathrm{H}dz$$

et pour celle de la force électromotrice d'induction,

$$-\mathrm{Y}' = -\frac{dp}{dt}$$

on a

$$\frac{dp}{dt} = \int \mathrm{P}dx + \mathrm{P}dy + \mathrm{R}dz$$

où

$$\mathrm{P} = -\frac{d\mathrm{F}}{dt}, \quad \mathrm{Q} = -\frac{d\mathrm{G}}{dt}, \quad \mathrm{R} = -\frac{d\mathrm{H}}{dt}$$

et, comme il ne s'agit que du cas d'un conducteur au repos, et de l'intégrale prise le long d'un contour fermé, c'est la forme définitive de la force.

On peut remarquer, puisqu'il ne s'agit d'après la conception géométrique du vecteur que de l'action du circuit primaire, que p n'est exprimé que par le terme $\mathrm{M}_{12}y_2$ et que cette quantité serait nulle si y_2 était constant ce que la définition géométrique semble impliquer en disant que i_1, le primaire, est constant. Mais il faut l'entendre semble-t-il, en disant que le primaire est fixe et qu'à un instant donné, son intensité à une valeur donnée dont dépendent F, G, H. De cette expression, Maxwell donne l'explication suivante [p. 274] : « Ce vecteur est la force électromotrice au point où se trouve l'élément *ds*. Sa direction et sa grandeur dépendent de la position de *ds* et de la variation du champ magnétique. mais non de la direction de *ds*. Nous pouvons donc ne plus tenir compte du fait que *ds* fait partie

d'un circuit et nous pouvons le considérer simplement comme une partie d'un corps soumis à une force électromotrice, telle qu'elle a été déjà définie au § 68 ».

On voit que la self-induction doit être introduite comme une variation du champ magnétique dans les valeurs P, Q, R.

Les équations de Maxwell. On a donc établi les relations :

$$a = \mu\alpha = \frac{dH}{dy} - \frac{dG}{dz} \ldots \quad \text{et} \quad P = -\frac{dF}{dt} \ldots \text{ etc.}$$

les premières différentiées par rapport à t donnent

$$\mu \frac{d\alpha}{dt} = \frac{dR}{dz} - \frac{dQ}{dy} \ldots \text{ etc.}$$

qui sont la seconde équation de Maxwell.

La première s'obtient comme suit et je cite ici un passage important du texte : « On a établi aux §§ 482, 485 ce fait, qu'un circuit électrique produit dans l'espace environnant précisément les mêmes effets qu'en feuillet magnétique limité par ce circuit. Nous savons que dans le cas d'un feuillet il existe un potentiel qui a une valeur déterminée pour tous les points extérieurs au feuillet, mais dont les valeurs en deux points situés de part et d'autre du feuillet diffèrent d'une quantité finie. Si le champ magnétique au voisinage d'un courant ressemble à celui d'un feuillet, en premier lieu le potentiel magnétique obtenu par intégration de la force le long d'une courbe fermée est nul pourvu que le contour n'entoure pas le courant, ce qui est le cas pour le feuillet. En second lieu, si le courant traverse une fois et une seule la courbe fermée dans le sens positif, l'intégrale prise le long de la courbe a une valeur déterminée que l'on peut prendre pour mesure électromagnétique du courant et qui est $4\pi i$. »

D'après cette identité acceptée entre les propriétés du feuillet et celle du courant, Maxwell établit sa première équation. On a pour l'intégrale de contour

$$\int \alpha dx + \beta dy + \int \gamma dz =$$

$$\iint \left| l \left[\frac{d\gamma}{dy} - \frac{d\beta}{dz}\right] + m \left[\frac{d\alpha}{dz} - \frac{d\gamma}{dx}\right] + n \left[\frac{d\beta}{dx} - \frac{d\alpha}{dy}\right] \right| d\sigma$$

le second membre étant l'intégrale de surface limitée par le contour. En appliquant cette relation à une courbe fermée

très petite dont la surface est l'élément $dydz$, et en désignant par u, v, w les composantes du courant i, la relation entre la valeur de l'intégrale et $4\pi i$ donne

$$4\pi u = \frac{d\gamma}{dz} - \frac{d\beta}{dy} \ldots \text{ etc.}$$

parce que $uxdydz$ est la valeur correspondant à i. C'est la première équation de Maxwell qu'il transforme en l'appliquant au vrai courant formé par la somme du courant de conduction A et du courant de déplacement. Ce dernier est dû à la variation des quantités précédemment définies f, g, h qui s'expriment par les composantes de la force électromotrice P, Q, R multipliées respectivement par $K/4\pi$. Comme d'autre part le courant de conduction est donné par PC, où C est la conductibilité, on a finalement en remplaçant u par $\mathrm{PC} + \mathrm{K}d\mathrm{P}/dt/4\pi$

$$\frac{d\gamma}{dz} - \frac{d\beta}{dy} = \mathrm{CP} + \frac{1}{4\pi}\mathrm{K}\frac{d\mathrm{P}}{dt} \ldots \text{ etc.}$$

Ce sont les équations qui, dans le cas d'un milieu non conducteur, deviennent celles de la propagation de la perturbation électromagnétique

$$\mathrm{K}\mu\frac{d^2\mathrm{F}}{dt^2} + \nabla^2\mathrm{F} = o \ldots \text{ etc.}$$

En résumé la seconde équation résulte de ce que l'on identifie le vecteur J avec l'induction magnétique et la première de ce que l'on identifie les propriétés d'un courant fermé avec celles d'un feuillet et qu'on applique la relation que cette propriété implique à une aire infiniment petite de l'intégrale de surface. La substitution du courant *vrai* au courant de conduction pour lequel seul la propriété du feuillet est établie semble une hypothèse qui aurait besoin de vérification expérimentale.

RECHERCHES SUR LES FERMENTS RÉDUCTEURS

PAR

A. BACH

(Premier mémoire)

Le fait que les tissus d'origine végétale et animale ont la faculté de réduire les nitrates en nitrites, fut constaté par Schœnbein[1] en 1861. Observateur très fin, Schœnbein ne tarda pas d'établir un rapprochement entre cette faculté et les propriétés catalytiques des mêmes tissus vis-à-vis du peroxyde d'hydrogène. Il fit remarquer que les corpuscules sanguins qui décomposent catalytiquement le peroxyde d'hydrogène, réduisent aussi les nitrates en nitrites, et que les deux catégories de réactions sont empêchées par l'acide cyanhydrique. Bien que ses expériences soient loin d'être à l'abri de tout reproche, Schœnbein vit juste : la réduction des nitrates par les tissus est incontestablement un phénomène *catalytique* et se réalise par l'intervention d'un ferment.

De nombreux chercheurs s'occupèrent de cette question après Schœnbein, et les travaux relatifs aux phénomènes de réduction biologiques se chiffrent par centaines. Mais, jusqu'à présent, la plus grande confusion règne dans ce domaine. Les uns (Rey-Pailhade, Pozzi-Escot, Abelous et autres) croient à l'existence de ferments réducteurs ou *réductases;* les autres (Kastle et Elvove, Hefter et ses collaborateurs) émettent l'avis que les phénomènes de réduction observés se passent sans l'intervention d'un ferment quelconque. L'état des choses se caractérise suffisamment par le fait que, dans son excellent Traité : « Die Fermente und ihre Wirkungen[2] », C. Oppenheimer consacre

[1] *Journ. f. prakt. Ch.*, 84, 193, 1861 ; *Zeitschr. f. Biol.,* 3, 140.
[2] Leipzig 1909.

aux réductases quelques lignes dans lesquelles il se borne à révoquer en doute leur existence.

Le cadre de ce mémoire ne me permet pas de faire l'analyse, même la plus sommaire, des travaux publiés jusqu'à présent sur le problème qui nous occupe. Je ne puis que relever les faits cardinaux qui constituent le point de départ de mes recherches et qui, à mon avis, permettent de donner au problème une orientation nouvelle et féconde.

Schardinger [1] fit en 1902 l'observation que le lait *frais* qui seul n'exerce aucune action sur le bleu de méthylène, le sulfindigotate de soude, etc., réduit rapidement ces matières colorantes à l'état de leucobases en présence d'aldéhyde formique ou acétique. La réaction n'a pas lieu, si l'on opère sur du lait préalablement bouilli. Dans un travail exécuté avec un très grand soin, Trommsdorff [2] démontra que la réaction de Schardinger est due à l'intervention d'un ferment préexistant dans le lait, et non à l'action de microbes, dont le lait frais est toujours contaminé. Par un procédé sur lequel je ne m'étendrai pas, Trommsdorff put se procurer du lait *aseptique* et constater sa propriété de réduire le bleu de méthylène en présence d'aldéhyde formique. D'autre part, le lait frais contaminé de microbes acquiert au bout de quelques heures la faculté de réduire le bleu de méthylène même en l'absence d'aldéhydes. Il en résulte que l'enzyme de Schardinger n'est pas identique avec la réductase. Trommsdorff fait remarquer que la constatation de ces faits ne nous donne encore aucune indication de nature à nous faciliter la compréhension de la réaction de Schardinger. Il me semble que cette conclusion n'est justifiée que pour autant que l'on envisage cette réaction comme un phénomène isolé. Par contre, si l'on tient compte des faits acquis dans l'étude des ferments oxydants d'une part, et de certaines réactions purement chimiques, d'autre part, on voit apparaître des analogies qui ouvrent de nouveaux champs à l'expérience, en même temps qu'elles permettent de généraliser, ne fût-ce qu'à titre provisoire, certaines conceptions déjà existantes.

[1] *Chem. Zeitschr.*, 28, 704, 1909.

[2] *Centralbl. f. Bakter.*, 42, 4463, 1909.

C'est précisément au cours de mes recherches sur les ferments oxydants que j'ai été amené à faire quelques observations qui ont attiré mon attention sur le domaine des réductions biologiques et qui m'ont décidé à entreprendre les recherches que je me propose d'exposer aussi brièvement que possible dans ce mémoire.

I

La réduction des nitrates en nitrites, des matières colorantes en leucobases, etc., par les tissus d'origine végétale et animale ne peut se faire que par l'intervention de l'hydrogène à l'état naissant. Cet hydrogène ne peut provenir que de la décomposition de l'eau. Pour pouvoir étudier rationnellement les processus de réduction biologiques, il faut donc avant tout découvrir les moyens que les êtres organisés ont à leur disposition pour produire de l'hydrogène naissant aux dépens de l'eau. Pour cela, j'ai passé en revue les réactions chimiques qui donnent lieu à la décomposition de l'eau avec mise en liberté d'hydrogène, en éliminant, bien entendu, toutes celles qui, manifestement, ne peuvent avoir lieu chez un être vivant. Mon attention s'est portée plus spécialement sur la réaction qui se passe entre l'hypophosphite de soude et l'eau en présence de palladium, réaction que j'ai soumise à une étude approfondie [1].

L'hypophosphite de soude est sans action appréciable sur l'eau. Mais si l'on ajoute une trace de mousse de palladium à un hypophosphite en solution aqueuse, l'hypophosphite se transforme en phosphite en même temps qu'il se dégage de l'hydrogène. La réaction se passe suivant l'équation :

$$PO_2H_3 + 2HOH = PO_3H_3 + H_2O + H_2$$

On a donc ici le cas d'un corps oxydable qui décompose l'eau et s'empare de son oxygène à la condition d'être aidé par un catalyseur capable de fixer, ne fût-ce que momentanément, l'hydrogène. On sait, en effet, que le palladium se combine facilement à l'hydrogène pour former des composés instables et agissant comme réducteurs puissants. Si l'on introduit du bleu

[1] A. Bach. Spaltung des Wassers durch Hypophosphite in Gegenwart von Palladium als Katalysator. *Chem. Berichte*. 42, 4463, 1909.

de méthylène dans le système palladium-hypophosphite-eau, la matière colorante est rapidement réduite.

Il est facile de voir qu'entre cette dernière réaction et la réaction de Schardinger, il existe une grande analogie. Cette analogie saute surtout aux yeux lorsqu'on se rappelle que Bredig et Sommer (1) ont réussi à substituer, dans la réaction de Schardinger, les métaux du groupe de platine (iridium, platine, palladium) *à l'enzyme du lait*. On est donc parfaitement justifié d'admettre que le fonctionnement des systèmes catalytiques en question, à savoir :

palladium	—	bleu de méthylène	—	hypophosphite	—	eau
palladium	—	bleu de méthylène	—	aldéhyde	—	eau
enzyme du lait	—	bleu de méthylène	—	aldéhyde	—	eau

repose sur une seule et même réaction chimique. Cette réaction est *la décomposition de l'eau par un corps oxydable* (hypophosphite, aldéhyde) *avec le concours d'un catalyseur* (palladium, ferment) *s'unissant à l'hydrogène pour former un composé instable et, par conséquent, réducteur*.

II

La conception qui vient d'être énoncée comporte une série de conséquences susceptibles d'être vérifiées par l'expérience. La première de ces conséquences est celle-ci :

On sait que les tissus animaux frais, en particulier, le foie, possèdent la propriété de réduire rapidement le bleu de méthylène en sa leucobase. Cette réduction était attribuée jusqu'ici à un principe unique: « réductase » pour les uns, substance chimique définie pour les autres. Or, si la réduction du bleu de méthylène dans la réaction de Schardinger est due à l'action d'un système ferment-aldéhyde-eau, le même système devrait présider à la réduction de cette matière colorante dans les tissus animaux. Il s'agissait donc de démontrer que le principe réducteur des tissus se compose d'un ferment identique ou analogue à celui découvert par Schardinger dans le lait, et d'un corps oxydable fonctionnant comme l'aldéhyde dans la réaction de Schardinger. Pour m'orienter, j'ai tout d'abord cherché à me rendre compte *de l'influence que les aldéhydes exercent sur la réduction du bleu de méthylène par les tissus*.

Le foie de veau frais réduit le bleu de méthylène d'une manière très énergique. Lorsqu'on traite 2 gr. de bouillie de foie mis en suspension dans 10 cc. d'eau par 1 cc. de réactif de Schardinger (5 cc. de solution alcoolique saturée de bleu de méthylène + 195 cc. d'eau), et qu'on chauffe au bain-marie à 70°, le mélange se décolore en très peu de temps. Si l'on institue des expériences comparatives avec ou sans addition d'aldéhydes, on constate que, suivant les quantités ajoutées, les aldéhydes formique et acétique n'exercent aucune influence sur la réduction du bleu de méthylène ou la retardent. En d'autres termes, le tissu frais n'a pas besoin du concours d'une substance oxydable (aldéhyde) pour réduire la matière colorante. Mais j'ai réussi à dédoubler le principe réducteur du foie de façon à lui enlever ses propriétés réductrices et à pouvoir les lui restituer par l'adjonction d'aldéhyde acétique ou formique.

En broyant du foie de veau réduit en bouillie avec 5 fois son poids d'une solution à 2 % de fluorure de sodium et faisant passer le mélange par un linge, on obtient une émulsion qui, seule, agit — après dilution par 5 fois son volume d'eau — très lentement ou point sur le bleu de méthylène à 70°; par contre, en présence d'aldéhyde acétique (1 cc. d'une solution à 1 % pour 20 cc. d'émulsion diluée), la matière colorante est réduite en quelques minutes. Chauffée à l'ébullition, l'émulsion perd la propriété de réduire le bleu de méthylène en présence d'aldéhydes. L'émulsion filtrée est inactive, le résidu reste actif. Le ferment peut être amené en solution en opérant comme suit :

Du foie de veau réduit en bouillie est broyé avec 5 fois son poids d'une solution à 1 % de bicarbonate de soude, le mélange est abandonné à lui-même pendant plusieurs heures à basse température; filtré sur un linge, le liquide trouble obtenu est soigneusement neutralisé avec de l'acide acétique et filtré sur un filtre de papier. On obtient ainsi un liquide rouge rubis, parfaitement limpide, qui tient le ferment en solution. Traité par 3 fois son volume d'alcool fort, il fournit un précipité, dont le ferment peut être extrait au moyen d'une solution à 0,5 % de bicarbonate de soude. L'extrait limpide et incolore, neutralisé par l'acide acétique étendu, donne la réaction de Schardinger; c'est-à-dire, il réduit le bleu de méthylène en présence

d'aldéhydes. Comme pour l'enzyme de Schardinger, l'optimum de la réaction est situé vers 70°. L'aldéhyde acétique donne de meilleurs résultats que l'aldéhyde formique, probablement en raison de la toxicité plus grande de celle-ci. Le ferment peut aussi être extrait du foie au moyen d'une solution contenant 1 % de bicarbonate de soude et 2 % de fluorure de sodium. Soit en solution, soit à l'état solide, le ferment est très peu stable. Par le procédé qui vient d'être indiqué, on peut aussi extraire le même ferment des poumons, de la rate, du rein et du tymus.

Il résulte de ces données que la réduction du bleu de méthylène par les tissus animaux est due à l'action combinée d'un ferment, très probablement identique à celui découvert par Schardinger dans le lait, et d'une substance qui peut être remplacée par des aldéhydes.

III

Outre les matières colorantes, les tissus végétaux et animaux réduisent aussi, comme il a été mentionné plus haut, les nitrates. Hefter[1] attribue ces deux catégories de réductions à deux principes totalement distincts l'un de l'autre. Le fait que la réduction des matières colorantes s'est trouvée être effectuée par le jeu d'un système ferment-substance oxydable-eau, justifiait la supposition que la réduction des nitrates en nitrites par les tissus animaux était due à un système analogue, sinon identique. *Cette supposition s'est pleinement confirmée.* Par des expériences précises, j'ai établi que l'enzyme de Schardinger contenue dans le lait frais et qui seule est sans action sur les nitrates, en détermine la réduction en présence d'aldéhydes. D'autre part, par le procédé mentionné plus haut, j'ai extrait du foie de veau un ferment qui, comme l'enzyme de Schardinger, accélère la réduction des nitrates par les aldéhydes.

Je me vois obligé de m'arrêter un peu à ces expériences qui, par leur côté méthodologique et par les résultats qu'elles ont fournis, ont une certaine importance pour l'étude pratique et théorique des ferments réducteurs.

[1] *Arch. f. Pathol.*, Suppl., 28, 1908.

A la différence de la réduction des matières colorantes en leucobases, la transformation des nitrates en nitrites peut facilement être suivie au point de vue quantitatif, grâce au fait que les nitrites peuvent être très exactement dosés en présence de nitrates. Après quelques tâtonnements, j'ai adopté la méthode suivante qui m'a donné d'excellents résultats.

A un volume déterminé de lait frais, on ajoute des volumes déterminés de solutions de nitrate et d'aldéhyde et de l'eau jusqu'à concurrence de 100 cc. — chaque ingrédient chauffé au préalable séparément à la température voulue — et l'on abandonne le mélange au thermostat réglé à une température constante. A des intervalles déterminés, on prélève sur le mélange, suivant la rapidité de la réduction, 1 à 2 cc. ; on traite l'essai par 1 cc. d'une solution à 1 % d'acétate basique de plomb dans un ballon jaugé de 50 cc., on ajoute de l'eau jusqu'au trait et on filtre sur un filtre sec. Sur la portion filtrée qui est parfaitement limpide et incolore, on prélève, suivant le cas, 10 à 20 cc. et on y dose colorimétriquement par le procédé Ilosvay-Lunge (au moyen d'a-naphtylamine et d'acide sulfanilique en solution acétique étendue) le nitrite formé. Pour faire ressortir la valeur de la méthode, je citerai l'expérience suivante :

50 cc. de lait bouilli ont été additionnés de 5 cc. d'une solution de nitrite de soude pur contenant 5,175 mg. N_2O_3, de 5 cc. d'une solution à 10 % d'aldéhyde acétique et de 40 cc. d'eau, et le tout a été abandonné au thermostat à 50°.

Nitrite retrouvé

Temps en heures	0	1	2	4	24
Milligrammes N_2O_3 .	5,169	5,147	5,152	5,158	5,172

L'erreur d'expérience n'a donc pas dépassé le 0,4 % de la teneur en nitrite du mélange.

En me servant de cette méthode pour suivre au point de vue quantitatif la marche de la réduction des nitrates, j'ai fait un très grand nombre d'expériences qui seront publiées in extenso ailleurs. Ici, je me bornerai à relater les résultats obtenus en les appuyant, dans les cas les plus importants, par des données numériques.

1. Dans les conditions où je m'étais placé, les nitrates ne

sont pas réduits par l'aldéhyde acétique avec une vitesse appréciable.

2. Le lait de vache *bouilli* n'exerce aucune influence sur la réduction des nitrates par l'aldéhyde acétique.

3. Le lait *frais* accélère ce processus de telle sorte que, dans des conditions appropriées, la formation de nitrites peut être démontrée au bout de 1 à 2 minutes.

4. En l'absence d'aldéhydes, le lait *frais* est sans action sur les nitrates.

Voici les expériences sur lesquelles cette conclusion est basée :

100 cc. de lait frais ont été additionnés de 5 g. de nitrate de soude pur et de 0,5 g. d'aldéhyde acétique dans 50 cc. d'eau et le mélange a été abandonné au thermostat à 50°. Une expérience de contrôle a été instituée dans les mêmes conditions *sans aldéhyde.*

Nitrite formé, exprimé en mg N_2O_2

	Temps en heures								
	0,5	1	2	3	5	7	9	12	24
Avec aldéhyde .	2,923	4,901	7,510	12,075	12,441	12,390	—	12,407	—
Sans aldéhyde .	0	0	0	0	2,015	7,765	12,792	68,310	115,497

On voit qu'en présence d'aldéhyde acétique, la réaction se produit immédiatement et arrive, au bout de quelques heures, à un état d'équilibre, une marche qui est caractéristique de l'action enzymatique. Par contre, en l'absence d'aldéhyde, il ne se forme pas trace de nitrites pendant les premières heures. Puis, après une période d'incubation assez prolongée, la production de nitrites commence, progresse ensuite très rapidement et atteint en 24 heures le décuple de ce qu'elle a été dans l'expérience avec l'aldéhyde. Il est évident qu'on avait ici affaire à une action microbienne totalement indépendante de l'enzyme soluble contenue dans le lait. Pour le démontrer d'une façon tout à fait concluante, j'ai répété la même expérience, mais en ajoutant à chaque essai 2 g. de fluorure de sodium pour exclure toute action microbienne. Tandis que l'essai contenant de l'aldéhyde acétique a donné lieu à la formation de nitrite comme précédemment, l'essai non additionné d'aldéhyde n'a pas fourni trace de nitrite, même après plusieurs jours.

5. Le foie de veau contient une enzyme identique à celle du lait et qui accélère la réduction des nitrates en nitrites par l'aldéhyde acétique.

Expérience. — 200 g. de foie réduit en bouillie ont été mis à macérer pendant 24 heures avec 400 cc. d'un solution contenant 2 % de fluorure de sodium et 1 % de bicarbonate de soude, et le mélange a été filtré sur un linge. Des volumes déterminés d'extrait ont été mis en présence de nitrate, avec ou sans addition d'aldéhyde, et le nitrite formé a été dosé.

Nitrite formé, exprimé en mg. N_2O_3

Temps en heures	25 cc. d'extrait		50 cc. d'extrait	
	avec aldéhyde	sans aldéhyde	avec aldéhyde	sans aldéhyde
1	0,777	0,128	1,101	0,507
2	1,404	0,305	2,437	1,163
3	2,159	0,353	4,565	1,271
6	3,632	—	5,851	1,451
9	4,575	0,371	—	—
24	4,566	0,339	5,971	1,432

On voit que l'addition d'aldéhyde acétique provoque une augmentation de la production de nitrite, augmentation qui diminue avec la quantité d'extrait. La production de nitrite a été augmentée 13 fois avec 25 cc. d'extrait, et 4 fois seulement avec 50 cc. d'extrait. L'extrait soumis à l'ébullition perd sa faculté d'accélérer la réduction de nitrates par l'aldéhyde.

6. La vitesse de réduction des nitrates par l'aldéhyde acétique et le ferment du lait croît avec la concentration de l'aldéhyde, mais beaucoup plus lentement que celle-ci. Il en est de même pour la concentration du nitrate. Pour 75 cc. de lait et 0,5 g. d'aldéhyde acétique dans 100 cc., l'optimum pour la concentration du nitrate est situé entre 4 et 5 %.

7. Dans les premières phases, la vitesse de réduction est exactement proportionnelle à la concentration du ferment (lait) ; dans les phases ultérieures, on constate de légers écarts de cette modalité.

8. La vitesse de réduction croît avec la température. Mais à côté de la réduction des nitrates, il y a destruction des nitrites. Les deux processus marchent de pair, l'optimum étant situé entre 60 et 70°.

Expérience. — 75 cc. de lait frais, 5 g. de nitrate de soude, 0,5 g. d'aldéhyde acétique dans 100 cc.

Nitrite formé, exprimé en mg. N_2O_3

Temps en heures	Température 30°	40°	60°	70°
0,5	0,506	0,624	4,434	4,085
1	1,242	1,403	5,971	3,227
2	1,826	2,772	8,871	2,762
3	2,137	3,528	8,171	1,552
6	2,589	3,881	5,971	1,491
8	2,700	4,001	5,942	1,507
24	4,085	4,412	5,353	1,520
48	4,131	—	5,360	—

9. L'acide acétique résultant de l'oxydation de l'aldéhyde acétique n'exerce pas d'influence destructive sur le nitrite formé, étant donné qu'en milieu alcalin la réduction marche de la même manière qu'en milieu neutre.

10. Dans un mélange de lait frais, d'aldéhyde acétique et de nitrite de soude, la teneur en celui-ci décroît lentement. Le lait bouilli en présence d'aldéhyde et le lait frais en l'absence d'aldéhyde sont sans action sur le nitrite de soude.

Expérience. — 50 cc. de lait frais ou bouilli, 5,175 mg. N_2O_3 sous forme de nitrite de soude pur, avec ou sans addition de 0,5 g. d'aldéhyde acétique dans 100 cc. Température 50°.

Nitrite exprimé en mg. N_2O_3

Temps en heures	Lait frais et aldéhyde	Lait bouilli et aldéhyde	Lait frais sans aldéhyde
0	5,159	5,169	5,181
1	5,007	5,147	5,163
2	4,776	5,152	5,172
4	4,567	5,158	—
7	4,435	—	5,178
24	4,345	5,172	5,186

Je n'ai encore pu établir jusqu'à présent ce que devient le nitrite de soude qui disparaît sous l'action combinée du ferment du lait et de l'aldéhyde acétique.

11. L'aldéhyde formique donne au point de vue de la production du nitrite des résultats beaucoup moins favorables que l'aldéhyde acétique.

IV

Il résulte des faits relatés plus haut que la réduction, soit des matières colorantes, soit des nitrates par les tissus animaux, doit être attribuée, non pas à un principe unique, mais à un système composé d'un ferment, catalyseur organique destructible par la chaleur, et d'un coferment, corps oxydable qui peut être remplacé par des aldéhydes, et qui est susceptible de s'oxyder aux dépens de l'eau avec mise en liberté d'hydrogène. Dans le tissu normal, le ferment et le coferment existent simultanément et constituent, avec le concours de l'eau, un système réducteur complet. L'addition d'aldéhyde à ce système n'exerce aucune influence sur le processus de réduction ou le retarde même en raison de la toxicité des aldéhydes. Mais en traitant le tissu par une solution de fluorure de sodium et de bicarbonate de soude, on arrive à séparer partiellement le ferment d'avec son coferment, et alors celui-ci peut être remplacé dans le système réducteur par l'aldéhyde acétique ou une autre aldéhyde. D'autre part, cette séparation s'effectue aussi normalement dans certains organes, tels que la glande mammaire : le lait recueilli aseptiquement ne contient que le ferment et n'exerce pas d'action réductrice faute de coferment susceptible de décomposer l'eau avec libération d'hydrogène. Mais si l'on remplace le coferment par l'aldéhyde acétique, on rétablit le système réducteur et on peut ainsi produire les mêmes phénomènes de réduction qui s'observent dans les tissus normaux et qui sont attribués à un principe unique : « réductase » ou corps chimique défini.

Ici apparaît l'analogie entre les ferments réducteurs et les ferments oxydants ou, plus exactement, entre la *réductase* et *l'oxydase* ordinaire ou *phénolase*. On sait que l'organisme végétal et animal renferme un ferment soluble, la phénolase, qui oxyde, avec le concours de l'oxygène atmosphérique, certains composés aromatiques, phénols et amines, ainsi que l'acide iodhydrique. D'autre part, l'organisme végétal et animal contient un autre ferment, la *peroxydase*, qui produit exactement les mêmes oxydations, mais seulement avec le concours du

peroxyde d'hydrogène ou de peroxydes organiques. Le peroxyde d'hydrogène ajouté à la phénolase normale est sans influence sur l'action oxydante de celle-ci, ou la retarde même, s'il se trouve en quantité considérable. Dans certaines conditions, la phénolose subit une altération à la suite de laquelle elle perd en partie ou en totalité son pouvoir oxydant; mais elle le récupère, si on lui adjoint du peroxyde d'hydrogène ou un peroxyde organique. D'autre part, cette altération de la phénolose se produit spontanément chez certaines plantes qui ne contiennent que de la peroxydase.

L'étude des phénomènes d'oxydation lente m'a conduit, en 1897, à la conclusion que l'oxydase doit son action oxydante à la formation intermédiaire de peroxydes [1]. Dans des recherches instituées plus tard, en collaboration avec R. Chodat [2], cette conclusion a pu être précisée et développée. Nous avons notamment démontré que l'oxydase ordinaire ou phénolase n'est pas un ferment unique, mais un système formé par une *peroxydase* et un corps oxydable fixant l'oxygène avec formation intermédiaire de peroxydes *(oxygénase)*. Si l'oxygénase fait défaut, elle peut être remplacée par un peroxyde tout formé (peroxyde d'hydrogène ou peroxyde organique) ou par un corps oxydable donnant lieu à la formation de peroxydes (essence de térébenthine, aldéhyde de benzoïque).

De ce qui précède, il résulte clairement que la *peroxydase est à la phénolase ce que l'enzyme de Schardinger est à la réductase*. Dans les deux cas, on se trouve en présence d'un système-ferment-substance oxydable. Mais tandis que, dans le premier cas, le fonctionnement du système aboutit, avec le concours de l'oxygène atmosphérique, à la production d'*oxygène actif* sous forme de peroxydes, dans le second cas, il y a production d'*hydrogène actif* aux dépens de l'eau dont l'oxygène est fixé par la substance oxydable. L'analogie entre les deux systèmes est tellement complète que l'on est porté à croire que leur fonctionnement repose sur un principe chimique commun. A titre d'hypothèse d'orientation, je me permets de developper

[1] *Compt. rend.*, 121, 951; *Moniteur scientifique*, 11, 479, 1897.
[2] *Chem. Berichte*, 36, 606, 1903.

ici quelques considérations générales qui laissent entrevoir ce principe.

La théorie de la dissociation électrolytique admet, comme point de départ, que l'eau est dissociée en quantité minime en ses ions H' et 'OH. D'autre part. la tétravalence démontrée de l'oxygène laisse prévoir que l'eau renferme aussi des molécules non-saturées $H_2O<$. Etant donné cette coexistence d'ions libres et de molécules d'eau non-saturées, il est parfaitement admissible que celles-ci s'unissent aux ions pour former des complexes extrêmement labiles. Les ions d'hydrogène formeraient ainsi le complexe $H_2O<'H_2$, les ions oxhydryle le complexe $H_2O<('OH)_2$. Le premier de ces complexes ne serait autre que le sous-oxyde d'hydrogène hypothétique H_4O, dont les analogues métalliques M_4O sont connus depuis longtemps; le dernier serait le peroxyde d'hydrogène hydraté $H_2O<O - H_2O = H_2O<{OH \atop OH}$. Je rappellerai que la chimie physique moderne admet la formation de combinaisons entre ions et dissolvants (Jones, Armstrong et autres).

Examinons de plus près, dans la lumière de cette conception, un processus de réduction basé sur la décomposition de l'eau, par exemple, la réduction du bleu de méthylène par le système platine-aldéhyde-eau, étudié récemment par Bredig et Sommer [1]. La matière colorante et l'aldéhyde sont incapables de décomposer avec une vitesse appréciable l'eau pour se réduire ou s'oxyder aux dépens de ses éléments. Mais la réaction se produit instantanément, si l'on introduit du platine colloïdal dans le mélange. Sur quoi repose l'action accélératrice du platine?

Engler et Wöhler [2] ont démontré que l'accélération de certains processus d'oxydation par le platine finement divisé est due à la formation intermédiaire de peroxyde de platine, PtO_2, lequel s'unit à une molécule d'eau pour former l'hydrate HO.Pt.O.OH ou ${HO.Pt \atop H}>O = O$ doué de propriétés oxydantes très énergiques. Dans l'action du peroxyde d'hydrogène sur le pla-

[1] L. c.

[2] *Zeitschr. f. anorg. Ch.,* 29, 1, 1902.

tine finement divisé, il se produit le même composé qui, en présence d'une matière oxydable, attaque vigoureusement celle-ci, en l'absence de matière oxydable, se décompose avec mise en liberté d'oxygène (catalyse du peroxyde d'hydrogène par le platine). L'accélération de l'oxydation de l'aldéhyde par le platine dans le système platine-bleu de méthylène-aldéhyde-eau s'explique le plus simplement en admettant que le platine forme avec le complexe $H_2O<('OH)_2$ du peroxyde de platine hydraté, ce qui en rompant l'équilibre entre H', 'OH, $H_2O<''H_2$, $H_2O<('OH)_2$ et l'eau non dissociée doit nécessairement provoquer la dissociation de nouvelles molécules de celle-ci.

Dans la réduction du bleu de méthylène concommittante de l'oxydation de l'aldéhyde, le platine joue probablement le même rôle que dans celle-ci : le platine s'unirait au complexe $H_2O<'H_2$ pour former un perhydrure labile doué de propriétés réductrices puissantes. Pour le palladium, un composé de cette nature a été récemment préparé par Paal et Gerum [1] sous forme d'hydrosol liquide de palladium hydrogéné PdH, H_2O ou $PdOH_3$. Ce composé n'est autre chose que le dérivé monopalladié du sous-oxyde d'hydrogène.

La propriété bien connue du palladium, du platine, etc., de s'unir, soit à l'oxygène, soit à l'hydrogène, laisse prévoir que les métaux de ce groupe peuvent accélérer aussi bien les processus de réduction que les processus d'oxydation : ils fonctionnent comme *ambocatalyseurs*. Par contre, les catalyseurs organiques, les ferments, agissent *spécifiquement*. Les processus d'oxydation qui reposent sur la formation intermédiaire de composés oxygénés instables, de *peroxydes*, sont accélérés par la *peroxydase;* les processus de réduction qui reposent sur la formation de composés hydrogénés instables, de *perhydrures*, sont accélérés par l'enzyme de Schardinger. L'analogie entre ces deux ferments est déterminée par la *similitude chimique* des corps sur lesquels ils agissent. La peroxydase agit sur le peroxyde d'hydrogène ou eau oxygénée $H_2O<O$, corps qui renferme un atome d'oxygène de plus que l'eau et fonctionne de ce fait comme oxydant. L'enzyme de Schardinger agit sur le sous-

[1] *Chem. Berichte*, 41, 805, 1908.

oxyde d'hydrogène ou *eau hydrogénée* $H_2O{<}H_2$, corps très labile et qui, renfermant 2 atomes d'hydrogène de plus que l'eau, doit fonctionner comme réducteur.

Cette hypothèse qui, je le répète, n'est qu'une hypothèse d'orientation, permet d'assigner une base chimique commune à tous les phénomènes enzymatiques dont la cellule vivante est le siège.

Les composés les plus simples d'oxygène et d'hydrogène, dont la tétravalence de l'oxygène fait prévoir l'existence, sont les suivants :

H_4O	$H_2O{<}$	$H_2O{<}O{<}$
Sousoxyde d'hydrogène ou eau hydrogénée	Eau	Peroxyde d'hydrogène ou eau oxygénée

A ces trois composés correspondent trois catégories de *biocatalyseurs* ou ferments :

Ferments qui agissent sur l'*eau hydrogénée* (ou ses dérivés) et président aux phénomènes de réduction ;

Ferments qui agissent sur l'*eau* et président aux phénomènes d'hydratation ou de dédoublement par hydrolyse ;

Ferments qui agissent sur l'*eau oxygénée* (ou ses dérivés) et président aux phénomènes d'oxydation.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AUX

FORTIFICATIONS DE SAINT-MAURICE

PENDANT L'ANNÉE 1910

RÉSUMÉ ANNUEL

PAR

Raoul GAUTIER

Directeur de l'Observatoire de Genève

ET

Henri DUAIME

I. *Introduction*

L'année 1910 a été exceptionnellement pluvieuse aux fortifications de Saint-Maurice, comme partout en Suisse. Elle dépasse sensiblement, à ce point de vue, l'année 1905 qui avait été très pluvieuse dans le Bas-Valais, beaucoup plus qu'à Genève.

Mais tandis que l'année 1910 a été plutôt trop chaude à Genève, à cause de l'hiver, très doux, aux fortifications de Saint-Maurice l'hiver a, comme au Grand Saint-Bernard, été beaucoup plus normal, et il en résulte que l'année a été trop froide en moyenne.

Il n'y a d'ailleurs rien eu de changé en 1910 à l'organisation des stations météorologiques des fortifications de Saint-Maurice. Elles sont toujours au nombre de quatre : *Lavey-village, Savatan, Dailly* et *l'Aiguille,* les deux du milieu étant seules des stations complètes. Nous renvoyons donc à ce que nous en disions dans les résumés des années précédentes ; et nous rappelons seulement que, cette année encore, le baromètre de la station de

Dailly est resté à l'intendance du fort, à 15 mètres au-dessus de son ancien emplacement, au bureau de tir. Pour ne pas rompre l'homogénéité des valeurs de la pression atmosphérique avec celles des années antérieures, une correction uniforme de $+ 1^{mm},2$ a été ajoutée à toutes les hauteurs barométriques observées en 1910, comme à celles des six années précédentes et à celles de la deuxième moitié de 1903.

Le service des observations continue à être confié aux sous-officiers des forts. Nous leur adressons ici nos remerciements pour la manière dont ils s'acquittent de leur tâche. Nous sommes heureux aussi de profiter de cette occasion pour exprimer notre reconnaissance à M. le lieutenant-colonel Grosselin, chef du bureau des fortifications, ainsi qu'à MM. les officiers placés sous ses ordres, pour la manière dont le service météorologique a marché en 1910.

La forme de la publication des *observations mensuelles* est restée la même que de 1903 à 1909. Elles sont groupées par saisons. La forme du *résumé annuel* a aussi été maintenue, et nous avons partout calculé les résultats et les moyennes pour l'*année civile*, comme pour l'*année météorologique*, quoique le détail des observations de décembre 1910 ne soit pas donné ici.

Les tableaux de ce résumé annuel sont les mêmes que ceux du précédent. Ils portent sur les cinq éléments observés : la *température*, la *pression atmosphérique*, l'*humidité de l'air*, la *nébulosité*, puis la *pluie* et la *neige*. Il s'y ajoute, comme pour les six dernières années, quelques petits tableaux supplémentaires relatifs au *brouillard*, à la *persistance de la neige* sur le sol, aux *jours d'orage* et aux cas de *fœhn*.

Enfin, nous y avons joint, comme en 1908 et en 1909, un dernier tableau (XX) comprenant les *écarts* des principaux éléments météorologiques par rapport aux moyennes de dix ans (1898-1907), que nous avons publiées précédemment[1].

Les documents sur lesquels sont basés ces vingt tableaux se trouvent, pour la plupart, dans les tableaux mensuels publiés en premier lieu, et il suffira de les accompagner de quelques brèves explications.

[1] *Archives*, t. XXVIII, p. 274, septembre 1909.

II. *Température.*

Les *tableaux I* et *II* fournissent, pour les deux stations de Savatan et de Dailly : 1° les valeurs moyennes des températures des différentes périodes (mois, saisons, année) pour les trois époques diurnes d'observation ; 2° les températures moyennes des mêmes périodes, calculées, comme dans les publications du Bureau central météorologique suisse[1], sur deux formules différentes : *a)* en prenant la moyenne arithmétique des trois températures moyennes diurnes ; *b)* en attribuant un poids double à l'observation de 9 heures du soir ; ce sont ces dernières moyennes que nous avons employées plus loin ; 3° les valeurs moyennes, pour les mêmes périodes, des températures minima et maxima.

Comme je le rappelais au début, l'année 1910 n'a été un peu plus chaude que la moyenne à Genève, que parce que l'hiver y a été très doux. Cet excès de température hivernal a compensé le déficit des trois autres saisons. Aux forts de St-Maurice, l'hiver n'a été que très peu plus chaud que la moyenne de 10 ans, et les autres saisons ayant été très froides, l'été surtout, l'année présente un déficit de température qui dépasse un demi-degré (voir au tableau XX). Seuls les mois de décembre 1909, février, mars, octobre et décembre 1910 ont été un peu plus chauds que la moyenne aux deux stations ; il s'y ajoute juin pour Dailly. L'année civile a été plus chaude que l'année météorologique, décembre 1910 ayant été sensiblement plus chaud que décembre 1909, le contraire de ce que nous avions constaté à Genève, mais l'analogue de ce qui existait au Grand Saint-Bernard.

L'amplitude annuelle correspond, à Savatan, aux mois de janvier et d'août, à Dailly, à ceux de février et d'août. Elle est de 16°,4 à la station basse et de 14°,2 à la station élevée. C'est sensiblement moins que la moyenne, et provient de ce que l'année a été nuageuse et humide.

En comparant les températures des deux stations dans le courant de l'année, on trouve, comme toujours, une *décroissance*

[1] *Annalen der schweiz. meteorologischen Zentralanstalt.*

I. TEMPÉRATURE. SAVATAN (679m), 1910.

PÉRIODE	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Températ. moyenne $\frac{7+1+9}{3}$	Températ. moyenne $\frac{7+1+2x9}{4}$	Minimum moyen	Maximum moyen
	o	o	o	o	o	o	o
Déc. 1909	+ 1.28	+ 2.62	+ 1.35	+ 1.75	+ 1.65	- 0.6	+ 4.2
Janv. 1910	- 1.46	- 0.10	- 0.32	- 0.63	- 0.55	- 2.9	1.3
Février	- 0.01	+ 2.92	+ 1.29	+ 1.40	+ 1.37	- 1.5	4.5
Mars	+ 2.65	7.38	4.55	4.86	4.78	+ 1.5	9.1
Avril	5.27	9.18	6.35	6.94	6.79	3.7	11.1
Mai	8.45	13.31	10.54	10.77	10.71	7.1	15.3
Juin	12.71	18.11	14.92	15.25	15.17	11.7	20.8
Juillet	12.32	16.66	14.44	14.47	14.46	11.4	18.8
Août	13.66	18.13	15.88	15.89	15.89	12.7	20.4
Septembre	9.66	13.35	11.67	11.56	11.59	9.1	14.3
Octobre	8.53	12.25	10.39	10.39	10.39	+ 7.7	13.3
Novembre	1.77	3.33	2.42	2.51	2.49	- 0.2	4.6
Décembre	+ 2.52	4.66	3.48	3.55	3.53	+ 0.9	5.8
Hiver	- 0.07	+ 1.78	+ 0.75	+ 0.82	+ 0.80	- 1.7	3.3
Printemps	+ 5.46	9.97	7.15	7.53	7.43	+ 4.1	11.8
Eté	12.90	17.63	15.08	15.20	15.17	11.9	20.0
Automne	6.67	9.67	8.19	8.18	8.18	5.6	10.8
Année mét.	6.28	9.80	7.83	7.97	7.93	5.0	11.5
Année civ.	6.38	9.98	8.01	8.12	8.09	5.1	11.7

II. TEMPÉRATURE. DAILLY (1253m), 1910.

PÉRIODE	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Températ. moyenne $\frac{7+1+9}{3}$	Températ. moyenne $\frac{7+1+2x9}{4}$	Minimum moyen	Maximum moyen
	o	o	o	o	o	o	o
Dec. 1909	- 0.11	+ 2.06	+ 0.24	+ 0.73	+ 0.61	- 3.7	+ 3.1
Janv. 1910	- 1.56	0.75	- 0.90	- 0.57	- 0.65	- 4.5	2.3
Février	- 2.42	0.89	- 1.36	- 0.97	- 1.07	- 5.2	2.2
Mars	- 0.14	3.81	+ 1.18	+ 1.62	+ 1.51	- 1.2	5.4
Avril	+ 1.97	5.72	3.16	3.62	3.50	+ 0.4	7.2
Mai	5.64	9.31	7.21	7.39	7.34	4.2	10.7
Juin	10.70	14.28	11.59	12.19	12.04	9.0	16.2
Juillet	10.12	13.77	11.99	11.96	11.97	8.7	15.4
Août	11.60	15.17	12.79	13.19	13.09	10.1	16.9
Septembre	7.29	10.51	8.27	8.69	8.59	6.3	11.6
Octobre	+ 6.85	10.31	7.85	8.34	8.22	+ 5.8	11.7
Novembre	- 0.68	0.98	0.17	0.16	0.16	- 2.8	2.6
Décembre	+ 0.86	2.90	+ 1.61	+ 1.79	+ 1.74	- 0.9	4.4
Hiver	- 1.33	+ 1.24	- 0.65	- 0.25	- 0.35	- 4 5	+ 2.5
Printemps	+ 2.49	6.28	+ 3.86	+ 4.21	+ 4.12	+ 1.1	7.8
Eté	10.81	14.41	12.13	12.45	12.37	9.3	16.1
Automne	4.51	7.30	5.46	5.76	5.68	3.1	8.7
Année mét.	4.15	7.34	5.23	5.57	5.49	2.3	8.8
Année civ.	4.23	7.41	5.35	5.66	5.58	2.5	8.9

variable avec l'altitude suivant les saisons et les mois. Elle est donnée dans le petit tableau suivant. La différence de hauteur des thermomètres est de 574 mètres.

Saison.	Décroissance de la température. Absolue.	Pour 100 m.
	°	°
Hiver	1.15	0.20
Printemps	3.31	0.58
Été	2.80	0.49
Automne	2.50	0.44

La décroissance est, comme toujours, plus faible en hiver ; elle est minimum en janvier : 0°,10, soit 0°,02 par 100 mètres.

La décroissance maximum est au mois de mai, où elle est de 3°,37, ou de 0°,59 par 100 mètres.

Les cas d'*inversion de la température* entre les deux stations sont indiqués dans le petit tableau suivant. Ils sont relevés sur les tableaux des températures diurnes des différents mois :

Jours d'inversion de la température.

Décembre	1909	7 jours	Septembre	1910	1 jour
Janvier	1910	11 »	Octobre	»	3 »
Février	»	3 »	Novembre	»	4 »
....			Décembre	»	7 »
Année météorol.		29 jours	Année civile		29 jours

Les cas d'inversion de la température se sont présentés, comme toujours, en hiver et en automne. Le nombre maximum tombe en janvier, puisque ce mois a été presqu'aussi chaud à Dailly qu'à Savatan. Le total annuel est encore un peu inférieur à ce qu'il était en 1909 et revient à un chiffre assez ordinaire aux forts de St-Maurice.

Les *tableaux III* et *IV* fournissent, pour les deux stations, le classement des jours de chaque mois et de l'année d'après leurs températures moyennes, ces températures étant groupées entre des limites variant de 5 en 5 degrés, de — 10° à + 25° pour Savatan et Dailly. Ils indiquent en même temps, pour les différents mois et pour l'année, les jours les plus froids et les plus chauds.

Les *tableaux V* et *VI* donnent les *températures extrêmes* obser-

III. Classement des températures diurnes. SAVATAN, 1910.

Période	Nombre de jours dont la température est comprise entre							Jour le plus froid	Jour le plus chaud
	−10° et −5	−5° et 0	0° et +5	+5° et +10	+10° et +15	+15° et +20	+20° et +25		
Déc. 1909	1	9	16	3	2	—	—	− 5°.5 le 11	+11°.7 le 23
Janv. 1910	—	19	10	2	—	—	—	− 4.4 le 26	8.0 le 19
Février..	2	12	7	7	—	—	—	− 6.0 le 1	9.3 le 22
Mars....	—	2	13	14	2	—	—	− 2.5 le 31	13.4 le 15
Avril....	—	—	10	15	5	—	—	+ 1.4 le 17	14.8 le 14
Mai.....	—	—	7	6	11	6	1	2.1 le 11	21.4 le 19
Juin.....	—	—	—	—	12	18	—	10.5 le 26	19.3 le 8
Juillet...	—	—	—	4	15	11	1	8.6 le 7	23.7 le 22
Août....	—	—	—	—	16	12	3	11.5 le 5	22.1 le 21
Sept.....	—	—	—	7	22	1	—	6.3 le 22	15.0 le 30
Octobre..	—	—	1	9	19	2	—	+ 4.5 le 21	16.5 le 2
Nov.....	—	10	13	5	2	—	—	− 4.1 le 23	10.0 les 9 et 29
Déc.....	—	5	16	8	2	—	—	− 4.5 le 29	10.5 les 6 et 8
An. mét.	3	52	77	72	106	50	5	− 6.0 le 1 fév.	+23.7 le 22 juil.
An. civ..	2	48	77	77	106	50	5	id.	id.

IV. Classement des Températures diurnes. DAILLY, 1910.

Période	Nombre de jours dont la température est comprise entre							Jour le plus froid	Jour le plus chaud
	−10° et −5	−5° et 0	0° et +5	+5° et +10	+10° et +15	+15° et +20	+20° et +25		
Déc. 1909	2	10	14	5	—	—	—	− 6°.2 le 10	+ 7°.5 le 28
Janv. 1910	6	10	13	2	—	—	—	− 8.5 le 23	7.9 le 5
Février..	3	14	9	2	—	—	—	− 6.2 le 11	5.7 le 22
Mars....	1	6	20	4	—	—	—	− 7.2 le 31	8.0 le 15
Avril....	—	4	15	10	1	—	—	− 0.9 le 10	10.8 le 14
Mai.....	—	6	4	10	9	2	—	− 1.1 le 11	17.1 le 19
Juin.....	—	—	—	7	19	4	—	+ 8.2 le 26	16.5 le 8
Juillet...	—	—	—	10	14	6	1	5.9 le 7	22.4 le 22
Août....	—	—	—	5	18	7	1	8.1 le 31	21.0 le 21
Sept....	—	—	2	20	8	—	—	2.2 le 22	13.4 le 29
Octobre..	—	—	4	22	4	1	—	+ 1.0 le 21	15.9 le 2
Nov.....	—	16	10	4	—	—	—	− 4.5 le 18	6.4 le 30
Déc......	2	7	17	5	—	—	—	− 5.5 le 28	8.3 les 5 et [illegible]
An. mét.	12	66	91	101	73	20	2	− 8.5 le 23 jan.	+22.4 le 22 juil.
An. civ..	12	63	94	101	73	20	2	id.	id.

V. Températures extrêmes. SAVATAN, 1910.

Période	Minimum absolu	Date	Maximum absolu	Date	Nombre de jours: Minimum au-dessous de 0°	Maximum au-dessous de 0°
	°		°			
Déc. 1909....	− 8.2	le 11	+14.6	le 23	14	6
Janvier 1910..	− 7.0	le 26	9.4	le 19	25	14
Février	− 8.2	le 2	14.0	le 22	19	3
Mars	− 4.0	le 31	15.6	le 15	9	—
Avril	0.0	le 7	19.0	le 14	—	—
Mai	− 0.2	les 2 et 3	26.2	le 19	2	—
Juin.........	+ 8.6	le 27	27.9	le 9	—	—
Juillet	5.8	le 5	28.6	le 22	—	—
Août	9.0	le 6	27.4	le 21	—	—
Septembre ...	2.8	le 23	18.8	le 30	—	—
Octobre......	+ 3.2	le 21	20.0	le 9	—	—
Novembre....	− 6.2	le 23	13.4	le 30	15	6
Décembre. ...	− 6.4	le 29	14.4	le 6	10	2
Année mét...	− 8.2	le 2 fév.	+28.6	le 22 juillet	84	29
Année civile..		id.		id.	80	25

VI. Températures extrêmes. DAILLY, 1910.

Période	Minimum absolu	Date	Maximum absolu	Date	Nombre de jours: Minimum au-dessous de 0°	Maximum au-dessous de 0°
	°		°			
Déc. 1909....	−11.1	le 11	+ 9.5	les 3 et 28	26	4
Janvier 1910..	−10.2	le 14	11.5	le 5	28	11
Février	−11.5	le 11	9.7	le 22	25	11
Mars	− 9.0	le 31	13.8	le 15	20	2
Avril.	− 7.4	le 1	14.2	le 21	15	1
Mai	− 3.5	le 3	19.6	le 20	11	—
Juin.........	+ 5.6	le 27	21.7	le 9	—	—
Juillet	2.6	le 5	29.1	le 22	—	—
Août	6.6	le 5	25.2	le 21	—	—
Septembre ...	0.2	le 22	18.0	le 29	—	—
Octobre......	+ 0.2	le 21	19.2	le 2	—	—
Novembre. ...	− 7.8	le 17	9.2	le 9	25	9
Décembre. ...	− 8.6	le 29	11.1	le 5	15	6
Année mét ...	−11.5	le 11 février	+29.1	le 22 juillet	150	38
Année civile..		id.		id.	139	40

vées à Savatan et à Dailly, ainsi que les indications sur les nombres de jours où le minimum ou le maximum sont restés au-dessous de zéro, ce qui fournit les totaux de *jours de gel* et de *jours de non-dégel*. Toutes ces indications ne peuvent être prises sur les tableaux mensuels publiés précédemment, mais

elles ont été relevées sur les feuilles des observations originales et sur les feuilles de réduction conservées à l'observatoire de Genève. D'après ces deux tableaux, l'*amplitude extrême* de la température n'est que de 36°,8 à Savatan et de 40°,6 à Dailly.

III. *Pression atmosphérique.*

Rappelons tout d'abord que, à partir du 1er décembre 1903, les corrections des baromètres de Savatan et de Dailly ont été modifiées d'après les comparaisons faites le 7 octobre 1903. Elles sont actuellement de + 1mm,56 pour Savatan et de + 0mm,70 pour Dailly.

Les *tableaux VII* et *VIII* donnent, pour Savatan et pour Dailly, les valeurs moyennes de la pression atmosphérique pour les mois, les saisons et l'année, météorologique et civile. Ces valeurs moyennes sont les moyennes arithmétiques des pressions moyennes des mêmes périodes, prises aux trois époques des observations diurnes. Les colonnes suivantes des tableaux fournissent les différences entre ces moyennes des trois observations diurnes et la moyenne générale de la période.

On ne peut naturellement pas, au moyen de ces trois données, déduire la courbe de la *variation diurne* de la pression atmosphérique, mais on peut cependant constater une différence assez sensible dans l'allure des oscillations diurnes des deux baromètres placés à des altitudes différant de 564m,75[1].

Si l'on suit la *variation annuelle* de la pression atmosphérique par les valeurs des pressions moyennes des mois, on constate, aux deux stations, un premier maximum de pression en janvier, suivi d'un minimum secondaire en février et d'un maximum secondaire en mars ; puis vient un nouveau minimum en avril et mai ; le maximum principal est en septembre et le minimum principal en novembre. L'année, dans son ensemble, a du reste été caractérisée par une pression trop basse (voir au tableau XX).

Les *tableaux IX* et *X* reproduisent, pour les deux stations, les valeurs extrêmes de la pression atmosphérique relevées sur les tableaux conservés à l'observatoire de Genève.

[1] Voir la remarque au début de l'introduction.

VII. Pression atmosphérique. SAVATAN (671m), 1910.

Période	Pression moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.
	mm	mm	mm	mm
Décembre 1909	700.17	− 0.19	− 0.10	+ 0.29
Janvier 1910	703.31	− 0.02	− 0.22	+ 0.24
Février	701.00	− 0.01	− 0.32	+ 0.33
Mars	704.32	+ 0.21	− 0.18	− 0.03
Avril	700.69	− 0.11	− 0.40	+ 0.51
Mai	700.10	+ 0.16	− 0.26	+ 0.10
Juin	702.63	0.00	− 0.53	+ 0.53
Juillet	703.44	+ 0.05	− 0.22	+ 0.17
Août	705.00	− 0.02	− 0.25	+ 0.27
Septembre	706.07	+ 0.10	− 0.28	+ 0.18
Octobre	704.74	+ 0.24	− 0.19	− 0.05
Novembre	698.97	− 0.01	− 0.12	+ 0.13
Décembre	700.63	+ 0.02	− 0.49	+ 0.47
Hiver	701.51	− 0.08	− 0.21	+ 0.29
Printemps	701.72	+ 0.09	− 0.28	+ 0.19
Eté	703.70	+ 0.01	− 0.33	+ 0.32
Automne	703.28	+ 0.11	− 0.20	+ 0.09
Année météorologique	702.56	+ 0.03	− 0.25	+ 0.22
Année civile	702.59	+ 0.05	− 0.29	+ 0.24

VIII. Pression atmosphérique. DAILLY (1236m), 1910.

Période	Pression moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.
	mm	mm	mm	mm
Décembre 1909	653.54	− 0.13	− 0.26	+ 0.39
Janvier 1910	656.31	+ 0.06	− 0.12	+ 0.06
Février	654.08	+ 0.09	− 0.40	+ 0.31
Mars	657.94	+ 0.03	− 0.07	+ 0.04
Avril	654.65	− 0.11	− 0.11	+ 0.22
Mai	654.80	+ 0.05	− 0.07	+ 0.02
Juin	657.78	− 0.08	− 0.08	+ 0.16
Juillet	658.36	+ 0.01	− 0.04	+ 0.03
Août	660.17	− 0.13	− 0.12	+ 0.25
Septembre	660.61	− 0.02	− 0.07	+ 0.09
Octobre	659.15	+ 0.04	− 0.03	− 0.01
Novembre	652.53	+ 0.14	− 0.05	− 0.09
Décembre	654.30	− 0.03	− 0.20	+ 0.23
Hiver	654.66	0.00	− 0.26	+ 0.26
Printemps	655.81	− 0.01	− 0.08	+ 0.09
Eté	658.78	− 0.07	− 0.08	+ 0.15
Automne	657.45	+ 0.05	− 0.04	− 0.01
Année météorologique	656.68	0.00	− 0.12	+ 0.12
Année civile	656.75	0.00	− 0.11	+ 0.11

IX. Pressions extrêmes. SAVATAN, 1910.

Période	Minimum mm	Maximum mm	Amplitude mm
Décembre 1909	688.0 le 5	711.5 le 9	23.5
Janvier 1910	679.4 le 25	715.8 le 7	36.4
Février	685.7 le 3	709.1 le 5	23.4
Mars	694.2 le 19	710.0 le 8	15.8
Avril	688.9 le 14	711.8 le 19	22.9
Mai	693.9 le 12	704.7 le 26	10.8
Juin	691.7 le 26	709.3 le 19	17.6
Juillet	699.0 le 16	707.8 le 5	8.8
Août	697.8 le 9	711.5 le 31	13.7
Septembre	701.2 le 12	710.9 le 27	9.7
Octobre	695.1 le 20	713.2 le 4	18.1
Novembre	688.6 le 5	708.7 le 10	20.1
Décembre	686.8 le 27	713.3 le 20	26.5
Année météorologique	679.4 le 25 janv.	715.8 le 7 janv.	36.4
Année civile	id.	id.	id.

X. Pressions extrêmes. DAILLY, 1910.

Période	Minimum mm	Maximum mm	Amplitude mm
Décembre 1909	642.0 le 5	663.9 le 9	21.9
Janvier 1910	633.7 le 25	667.8 le 10	34.1
Février	642.6 le 3	661.2 le 22	18.6
Mars	648.1 le 19	663.4 le 8	15.3
Avril	646.1 le 14	664.2 le 19	18.1
Mai	648.1 le 11	659.5 le 26	11.4
Juin	648.2 le 26	663.7 le 19	15.5
Juillet	655.0 le 7	661.3 le 13	6.3
Août	654.4 le 9	664.8 le 13	10.4
Septembre	655.9 le 11	665.4 le 27	9.5
Octobre	650.5 le 21	665.9 le 4	15.4
Novembre	643.2 le 15	661.7 le 22	18.5
Décembre	641.1 le 27	666.1 le 20	25.0
Année météorologique	633.7 le 25 janv.	667.8 le 10 janv.	34.1
Année civile	id.	id.	id.

IV. *Humidité de l'air.*

Les *tableaux XI* et *XII* fournissent, pour Savatan et Dailly et pour les treize mois, les saisons et l'année : d'abord les valeurs moyennes de la fraction de saturation aux heures des trois observations diurnes, puis la valeur de la *fraction de saturation moyenne*, enfin les minima et les maxima absolus. Lorsque le maximum correspond à la *saturation* complète, le nombre des cas de saturation est indiqué. Une dernière colonne fournit,

XI. Fraction de saturation en %. SAVATAN (679m), 1910.

Période	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	Minim. absolu	Maxim. absolu	Fréquence relative de la saturation
Déc. 1909..	81	75	81	79	32	100 14 fois	0.151
Janv. 1910.	81	77	77	78	30	100 15 »	0.161
Février....	67	56	65	63	26	100 5 »	0.060
Mars......	64	52	61	59	25	100 6 »	0.065
Avril	71	59	66	65	23	100 8 »	0.089
Mai.......	74	55	65	65	18	100 4 »	0.043
Juin	81	60	66	69	25	100 3 »	0.033
Juillet	83	65	74	74	36	100 6 »	0.065
Août	76	64	65	69	40	100 2 »	0.021
Septembre.	85	70	76	77	43	100 1 »	0.011
Octobre ...	84	72	76	77	32	100 12 »	0.129
Novembre .	78	71	81	76	25	100 19 »	0.211
Décembre .	73	67	71	70	25	100 16 »	0.172
Hiver.....	77	70	75	74	26	100 34 fois	0.126
Printemps.	70	55	64	63	18	100 18 »	0.065
Eté.......	80	63	68	71	25	100 11 »	0.040
Automne..	82	71	78	77	25	100 32 »	0.117
Année mét.	77	65	71	71	18	100 95 fois	0.087
Année civ.	76	64	70	70	18	100 97 »	0.089

XII. Fraction de saturation en %. DAILLY (1253m), 1910.

Période	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	Minim. absolu	Maxim. absolu	Fréquence relative de la saturation
Déc. 1909..	74	61	74	70	16	100 22 fois	0.237
Janv. 1910.	69	64	62	65	14	100 32 »	0.344
Février....	64	56	65	62	16	100 20 »	0.238
Mars......	61	52	58	57	16	100 18 »	0.194
Avril	72	59	68	66	17	100 22 »	0.244
Mai	72	59	62	64	14	100 14 »	0.151
Juin	73	57	67	66	19	100 19 »	0.211
Juillet	76	64	65	68	13	100 11 »	0.118
Août	71	63	66	67	19	100 15 »	0.161
Septembre.	85	71	76	78	24	100 28 »	0.311
Octobre ...	72	54	62	62	21	100 12 »	0.129
Novembre .	74	66	78	73	8	100 29 »	0.322
Décembre .	61	55	58	58	9	100 19 »	0.204
Hiver.....	69	61	67	66	14	100 74 fois	0.274
Printemps.	68	57	63	62	14	100 54 »	0.196
Eté.......	73	61	66	67	13	100 45 »	0.167
Automne..	77	64	72	71	8	100 69 »	0.253
Année mét.	72	61	67	66	8	100 242 fois	0.221
Année civ.	71	60	66	65	8	100 239 »	0.218

par symétrie avec les tableaux analogues des résumés pour Genève et le Grand Saint-Bernard, la *fréquence relative de la saturation.*

La fraction de saturation est, en 1910 comme en 1908, plus

faible en moyenne à Dailly qu'à Savatan ; en 1909 les valeurs étaient plus semblables aux deux stations.

La variation annuelle y est à peu près la même, comme en 1909. L'humidité est minimum au printemps, seule saison sèche, et maximum en automne. Le mois le plus sec est mars aux deux stations. Le plus humide est décembre 1909, puis janvier à Savatan ; à Dailly c'est septembre, qui est d'ailleurs aussi passablement humide à Savatan.

Il n'y a qu'un cas de sécheresse de l'air vraiment accusé à Dailly, en novembre. mois cependant très pluvieux. Quant aux cas de saturation complète de l'air, ils sont de nouveau plus fréquents qu'en 1909 ; et naturellement il y en a davantage à Dailly qu'à Savatan.

V. *Nébulosité.*

Dans le *tableau XIII*, la *nébulosité*, aux trois stations où elle est observée, est indiquée de deux manières différentes : 1° par les nombres de jours *clairs, peu nuageux. très nuageux* et *couverts,* ces désignations correspondant aux valeurs moyennes de la nébulosité diurne comprises entre les limites : 0,0 et 2,5, 2,5 et 5,0, 5,0 et 7,5, 7,5 et 10,0 ; 2° par la valeur moyenne de la nébulosité de chaque période. ces valeurs moyennes étant d'ailleurs déduites des valeurs de la nébulosité des différents jours, fournies dans les tableaux mensuels.

La nébulosité est sensiblement plus élevée en 1910, aux trois stations, que la moyenne résultant des observations de 1898 à 1907 (voir au tableau XX). Cela tient toujours au mauvais temps et à l'humidité de l'année. Cette constatation est vraie pour les trois stations, mais surtout pour celles de Savatan et de Dailly. Contrairement à ce que l'on avait observé en 1909, cette année-ci c'est à Savatan que l'on obtient les chiffres les plus élevés pour la nébulosité. Le mois le plus clair a été partout mars, et le plus nuageux a été novembre, aux trois stations également.

Le *tableau XIV* donne la statistique des *jours de brouillard* aux quatre stations. Les nombres qui figurent au tableau comprennent les jours où le brouillard a été noté pendant une par-

XIII. Nébulosité, 1910.

Période.	LAVEY Jours clairs.	Jours peu nuag.	Jours très nuag.	Jours couverts.	Nébulosité moyenne.	SAVATAN Jours clairs.	Jours peu nuag.	Jours très nuag.	Jours couverts.	Nébulosité moyenne	DAILLY Jours clairs.	Jours peu nuag.	Jours très nuag.	Jours couverts.	Nébulosité moyenne.
Déc. 1909 ..	5	4	8	14	6.8	7	4	4	16	6.3	7	4	4	16	6.3
Janv. 1910..	5	4	7	15	6.6	5	5	5	16	6.6	10	1	6	14	5.8
Février	3	5	12	8	6.1	5	5	11	7	5.7	5	3	10	10	6.2
Mars	12	4	5	10	4.6	12	5	3	11	4.7	11	5	6	9	4.8
Avril	2	7	11	10	6.5	3	3	12	12	6.8	0	10	7	13	6.7
Mai........	3	8	6	14	6.1	1	10	5	15	6.7	3	7	6	15	6.9
Juin.	5	9	5	11	5.9	4	6	7	13	6.1	5	6	7	12	6.1
Juillet	6	7	4	14	6.0	3	10	4	14	6.4	6	6	4	15	6.3
Août.......	6	9	7	9	4.9	5	11	8	7	5.3	9	7	7	8	5.0
Septembre..	6	5	6	13	6.2	6	3	6	15	6.4	6	2	6	16	6.6
Octobre	8	9	8	6	5.0	7	7	8	9	5.5	8	8	6	9	5.1
Novembre. .	4	3	6	17	7.1	3	2	5	20	7.7	2	4	6	18	7.8
Décembre ..	6	4	10	11	6.0	4	6	7	14	6.4	4	9	10	8	5.9
Hiver......	13	13	27	37	6.5	17	14	20	39	6.2	22	8	20	40	6.1
Printemps .	17	19	22	34	5.7	16	18	20	38	6.1	14	22	19	37	6.1
Eté........	17	25	16	34	5.6	12	27	19	34	5.9	20	19	18	35	5.8
Automne...	18	17	20	36	6.1	16	12	19	44	6.5	16	14	18	43	6.5
Année mét..	65	74	85	141	6.0	61	71	78	155	6.2	72	63	75	155	6.1
Année civ. .	66	74	87	138	5.9	58	73	81	153	6.2	69	68	81	147	6.1

tie de la journée ou pendant tout le jour. Ce dernier cas est rare ; il n'a été constaté, en 1910, qu'une seule fois à Savatan, et cela en décembre 1909, donc au début de l'année météorologique.

Si l'on compare les quatre stations entre elles, on trouve que le nombre des cas de brouillard est très faible à Lavey, au fond

XIV. Nombre de jours de brouillard en 1910.

Période	Lavey	Savatan	Dailly	Aiguille
Décembre 1909	0	3	4	4
Janvier 1910	1	9	1	1
Février	0	4	1	2
Mars	0	1	3	5
Avril	0	2	5	7
Mai	0	0	3	3
Juin	0	1	3	7
Juillet	0	1	0	3
Août	0	1	2	5
Septembre	0	1	6	12
Octobre	2	3	3	5
Novembre	0	0	0	0
Décembre	0	1	2	8
Année météorologique	3	26	31	54
Année civile	3	24	29	58

de la vallée, et augmente avec la hauteur, dans la même proportion que les deux années précédentes, mais avec des nombres de fréquence supérieurs. Le maximum se constate naturellement à l'Aiguille, mais s'il y a plus de jours de brouillard à cette station, comme aux autres, qu'en 1908 et 1909, il y en a cependant, absolument et relativement, moins qu'en 1907 et qu'en 1906.

VI. *Pluie et neige.*

Le *tableau XV* contient le relevé de tout ce qui concerne les précipitations atmosphériques dans leur ensemble, hauteur d'eau tombée et nombre de jours de précipitations, d'après les chiffres des tableaux mensuels.

L'année 1905 avait été une année très humide, surtout à St-Maurice ; 1906 avait été une année sèche à St-Maurice, comme à Genève ; 1907 avait été un peu moins humide que 1905, mais cependant très humide ; enfin 1908 et 1909 ont été, dans l'ensemble, à peu près normales, comme à Genève et au Grand Saint-Bernard.

L'année 1910, comme nous le disions au début, a été *très humide,* encore beaucoup plus que 1905 : et puisque, à Genève, c'est l'année la plus humide depuis plus d'un siècle, il est naturel qu'à St-Maurice elle se manifeste comme la plus humide depuis le début des observations.

XV. PRÉCIPITATIONS ATMOSPHÉRIQUES DANS L'ANNÉE 1910

PÉRIODE	Hauteur d'eau tombée en mm. Lavey	Savatan	Dailly	Aiguille	Nombre de jours de précipitations Lavey	Savatan	Dailly	Aiguille
	mm	mm	mm	mm	(430m)	(671m)	(1250m)	(1446m)
Déc. 1909 ...	172.0	170.1	158.4	140.7	21	21	23	23
Janv. 1910 ..	143.5	185.9	168.0	163.8	17	19	20	20
Février	88.5	84.0	112.9	123.5	14	12	15	15
Mars	26.4	29.3	51.6	45.0	4	5	6	6
Avril	101.2	100.3	107.4	125.4	18	18	19	19
Mai.........	69.0	63.9	84.4	85.2	12	11	17	17
Juin	147.2	153.3	170.3	159.0	16	14	17	17
Juillet	253.8	242.5	244.9	241.5	22	22	22	22
Août.........	103.0	109.5	126.7	118.9	16	14	14	14
Septembre...	102.4	110.8	128.0	127.3	15	16	17	17
Octobre	41.7	50.9	47.4	45.9	7	8	8	8
Novembre...	196.1	194.3	191.2	197.8	25	23	25	25
Décembre ...	78.3	91.5	114.9	109.5	9	12	15	15
Hiver.......	404.0	440.0	439.3	428.0	52	52	58	58
Printemps ..	196.6	193.5	243.4	255.6	34	34	42	42
Eté..... ...	504.0	505.3	541.9	519.4	54	50	53	53
Automne....	340.2	356.0	366.6	371.0	47	47	50	50
Année mét. .	1444.8	1494.8	1591.2	1574.0	187	183	203	203
Année civile.	1351.1	1416.2	1547.7	1542.8	175	174	195	195

Comme à Genève, le printemps est la seule saison qui présente un léger déficit de pluie, sauf à l'Aiguille (voir au tableau XX). Mais tandis qu'à Genève le mois le plus sec est mai, aux forts de St-Maurice c'est mars, comme au St-Bernard. Quant au mois le plus humide, c'est juillet à St-Maurice. A Genève et au St-Bernard c'est novembre, lequel occupe le second rang à St-Maurice. Le mois de juillet 1910 a cependant été dépassé, comme quantité de pluie à St-Maurice, par un autre mois d'été, le mois d'août 1905. Mais l'été de 1910 est, dans son ensemble, plus pluvieux que la saison correspondante de 1905.

Quant à la quantité relative recueillie à chaque station, on trouve toujours le maximum à Dailly et une quantité croissante jusque là. A l'Aiguille, il tombe plus d'eau qu'aux deux stations inférieures, mais moins qu'à Dailly, probablement à cause du vent qui souffle plus fort sur l'arête assez étroite de la montagne. Au reste, depuis que le pluviomètre de l'Aiguille a été déplacé et est plus abrité, la différence entre les quantités de pluie recueillies à cette station et à Dailly a diminué. Cela explique pourquoi les excédents d'eau constatés au tableau XX

sont plus forts pour l'Aiguille que pour les autres stations. Les moyennes des dix années de 1898 à 1907 y sont incontestablement trop faibles.

Pour le *nombre de jours de pluie,* nous trouvons aussi une augmentation à mesure que l'on monte ; puis, si l'on néglige, pour les quatre stations de Saint-Maurice, comme pour Genève et le Grand Saint-Bernard, les jours où il est tombé moins d'un millimètre d'eau, on trouve, pour les jours de pluie bien caractérisée, les chiffres suivants qui sont, en somme, assez concordants pour toutes les stations et qui sont, cette année, des maxima :

Station	Genève	Lavey	Savatan	Dailly	Aiguille	St-Bernard
Altitude	(406m)	(430m)	(671m)	(1250m)	(1446m)	(2476m)
Année météorol.	135	158	161	158	170	179
Année civile	130	149	152	153	164	171

Le *tableau XVI* donne les totaux des hauteurs de neige mesurées aux quatre stations, ainsi que les nombres de jours de neige. Comme il est naturel, la quantité de neige croît régulièrement avec la hauteur. En 1910, la neige a fait sa dernière apparition en février à Lavey, en mars à Savatan et en mai aux deux autres stations. Elle a reparu en novembre à toutes les stations.

Enfin, si l'on fait le relevé du temps pendant lequel la neige a séjourné sur le sol, on trouve les chiffres contenus dans le *tableau XVII*. Dans l'hiver 1909-1910, hiver plutôt doux, la

XVI. Neige dans l'année 1910.

Période	Hauteur de neige en centimètres				Nombre de jours de neige			
	Lavey	Savatan	Dailly	Aiguille	Lavey	Savatan	Dailly	Aiguille
	cm.	cm.	cm.	cm.				
Décembre 1909	20	48	105	122	3	5	12	12
Janvier 1910	50	94	87	99	10	11	15	15
Février	8	36	64	98	3	7	14	14
Mars	—	6	36	57	—	3	5	5
Avril	—	—	40	87	—	—	10	10
Mai	—	—	19	28	—	—	5	5
...								
Novembre	4	34	106	139	3	9	18	18
Décembre	17	20	71	90	2	4	8	9
Année mét.	82	218	457	630	19	35	79	79
Année civile	79	190	423	598	18	34	75	76

XVII. Nombre de jours où la neige a persisté sur le sol en 1910.

	Lavey	Savatan	Dailly	Aiguille
Décembre 1909	11	15	24	24
Janvier 1910	20	26	21	21
Février	11	25	28	28
Mars	—	7	15	15
Avril	—	2	10	10
Mai	—	—	7	7
....	....	....	....	....
Novembre	3	16	24	24
Décembre	3	6	19	19
Année météorologique...	45	91	129	129
Année civile	37	82	124	124

neige n'a persisté un peu longtemps sur le sol qu'à Dailly et à l'Aiguille ; et encore cette période n'a duré que du 13 janvier au 10 mars. A Savatan la plus longue persistance a été du 24 janvier au 23 février. A Lavey il n'y a eu que des périodes sensiblement plus courtes.

Le nombre des *jours d'orage* observés aux forts de St-Maurice est donné dans le petit *tableau XVIII ;* il comprend tous ceux qui ont été notés à l'une ou à l'autre des quatre stations.

XVIII. Jours d'orage en 1910

Février	2	Juin	6
....		Juillet	5
....		Août	3
Mai	2	Septembre	1
Année (météorologique et civile)			19

Comme dans tous les étés variables et plutôt frais, il y a un nombre assez considérable d'orages ; c'est ce que nous constations déjà pour Genève. Si l'on fait la comparaison avec les années précédentes, on trouve 9 jours d'orage de plus qu'en 1909, 7 de plus qu'en 1908, 5 de plus qu'en 1907, 4 de plus qu'en 1906 et qu'en 1903, 3 de plus qu'en 1905, mais 3 de moins qu'en 1904 et qu'en 1902.

Les observations du *fœhn* ont continué en 1910 aux quatre stations. Les indications des observateurs correspondent à des coups de vent violents venant du sud et accompagnés d'une hausse de la température et d'une diminution de la valeur de la

fraction de saturation. Nous les avons classés par mois et par stations, et les chiffres sont donnés au *tableau XIX*.

XIX. NOMBRE DE JOURS DE FŒHN EN 1910.

Mois	Lavey	Savatan	Dailly	Aiguille
Décembre 1909	3	3	3	3
Janvier 1910..........	1	1	1	1
Février	3	3	3	3
Mars	2	2	2	2
Avril................	3	3	2	2
Mai	2	2	1	1
Juin	—	—	—	—
Juillet	1	1	1	1
Août...............	—	—	—	—
Septembre...........	—	—	—	—
Octobre	2	2	2	2
Novembre	3	3	3	2
Décembre	4	4	4	3
Année météorologique..	20	20	18	17
» civile..........	21	21	19	17

Les nombres de ce tableau sont encore un peu supérieurs à ceux de 1909, surtout pour les deux stations supérieures. Ils le sont donc aussi à ceux des deux années antérieures. Le maximum de fréquence est, cette année, au printemps, en automne, et surtout en décembre 1910.

VII. *Écarts.*

Le *tableau XX* contient le relevé des écarts entre les chiffres des tableaux I, II, VII, VIII, XIII et XV et ceux des tableaux I, III, V, VI et VII des « Moyennes de 10 ans pour les éléments météorologiques observés aux fortifications de Saint-Maurice [1] ». Ces écarts ont été déterminés pour la température et la pression atmosphérique, à Savatan et Dailly, pour la nébulosité aux trois stations inférieures et pour les précipitations atmosphériques aux quatre stations.

Ce tableau donne donc, en chiffres et plus en détail, quelques-unes des indications qui sont fournies dans le texte des paragraphes précédents. Nous rappelons que les moyennes auxquelles nous avons rapporté les observations de 1910, comme celles de 1909 et de 1908, ne sont que des moyennes de *dix années ;* les écarts que nous donnons n'ont donc qu'une valeur relative et sont loin d'avoir une signification absolue.

[1] *Archives,* t. XXVIII, p. 274, septembre 1909.

XX. Ecarts de 1910 par rapport aux moyennes de 10 ans (1898-1907).

Période	Température		Pression atmosphérique		Nébulosité			Précipitations							
								Hauteur d'eau tombée				Nombre de jours			
	Savatan	Dailly	Savatan	Dailly	Lavey	Savatan	Dailly	Lavey	Savatan	Dailly	Aiguille	Lavey	Savatan	Dailly	Aiguille
	°	°	mm	mm				mm	mm	mm	mm				
Décembre 1909..	+ 1.42	+ 1.10	- 3.91	- 3.09	+ 1.7	+ 1.3	+ 1.8	+113.3	+111.7	+ 94.6	+ 85.7	+11	+12	+12	+12
Janvier 1910....	- 0.58	- 0.21	- 3.62	- 2.88	+ 1.6	+ 2.0	+ 1.5	+ 82.2	+126.3	+103.3	+108.5	+ 8	+ 9	+ 8	+ 8
Février	+ 0.76	+ 0.26	- 1.17	- 0.56	+ 0.9	+ 0.7	+ 1.2	+ 22.7	+ 18.0	+ 46.4	+ 72.7	+ 4	+ 1	+ 3	+ 3
Mars	+ 1.14	+ 0.85	+ 2.49	+ 3.11	- 0.8	- 0.5	- 0.3	- 48.4	- 40.6	- 26.6	- 18.7	- 8	- 7	- 8	- 7
Avril	- 0.98	- 0.75	- 0.94	- 0.64	+ 0.4	+ 1.1	+ 0.8	+ 5.9	+ 6.2	- 4.1	+ 41.0	+ 3	+ 3	+ 2	+ 2
Mai	- 0.82	- 0.69	- 2.57	- 2.07	+ 0.7	+ 1.4	+ 1.4	- 5.4	- 11.9	- 0.6	+ 13.0	- 3	- 3	+ 1	+ 2
Juin	- 0.23	+ 0.21	- 1.21	- 1.14	+ 0.8	+ 1.0	+ 1.1	+ 63.0	+ 68.1	+ 72.6	+ 71.4	+ 3	+ 1	+ 2	+ 2
Juillet	- 3.46	- 2.48	- 2.02	- 2.05	+ 1.7	+ 2.3	+ 2.2	+159.9	+146.2	+136.2	+142.9	+ 9	+ 9	+ 7	+ 8
Août	- 1.56	- 1.26	- 0.81	- 0.52	+ 0.8	+ 1.6	+ 1.3	- 9.4	- 5.0	+ 1.9	+ 4.0	+ 3	+ 2	+ 1	+ 1
Septembre......	- 2.76	- 2.84	+ 0.58	+ 0.69	+ 1.4	+ 2.0	+ 2.0	+ 34.2	+ 40.5	+ 43.1	+ 48.4	+ 4	+ 5	+ 5	+ 5
Octobre ,.......	+ 1.01	+ 1.15	+ 0.94	+ 1.67	- 0.5	- 0.1	- 0.1	- 39.0	- 32.3	- 44.1	- 32.0	- 5	- 5	- 7	- 7
Novembre. ..	- 1.80	- 2.61	- 4.67	- 4.21	+ 1.6	+ 2.3	+ 3.0	+144.0	+141.9	+135.7	+157.4	+14	+13	+14	+15
Décembre	+ 3.30	+ 2.23	- 3.45	- 2.33	+ 0.9	+ 1.4	+ 1.4	+ 19.6	+ 33.1	+ 51.1	+ 51.5	- 1	+ 3	+ 4	+ 4
Hiver..	+ 0.52	+ 0.39	- 2.95	- 2.23	—	—	—	+218.2	+256.0	+244.3	+266.9	+23	+22	+23	+23
Printemps... ..	- 0.22	- 0.19	- 0.33	+ 0.15	—	—	—	- 47.9	- 46.3	- 31.3	+ 35.3	- 8	- 7	- 5	- 3
Été	- 1.77	- 1.19	- 1.36	- 1.24	—	—	—	+213.5	+209.3	+210.7	+218.3	+15	+12	+10	+11
Automne	- 1.16	- 1.42	- 1.03	- 0.59	—	—	—	+139.2	+150.1	+134.7	+173.8	+13	+13	+12	+13
Année météorol.	- 0.67	- 0.60	- 1.41	- 0.97	+ 0.9	+ 1.3	+ 1.3	+523.0	+569.1	+558.4	+694.3	+43	+40	+40	+44
Année civile....	- 0.51	- 0.52	- 1.31	- 0.88	+ 0.8	+ 1.3	+ 1.3	+422.6	+483.3	+504.2	+654.1	+30	+30	+31	+36

COMPTE RENDU DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE ET D'HISTOIRE NATURELLE DE GENÈVE

Séance du 4 mai 1911

J. Briquet. Sur la structure et les affinités d'Illecebrum suffruticosum. — Perrot et Baume. Sur quelques constantes chimiques des gaz liquéfiés. — L. Duparc, Jeanneret et Wunder. Sur le dosage et la séparation du zirconium d'avec la silice, le fer et l'alumine.

M. J. Briquet. *Sur la structure et les affinités de l'Illecebrum suffruticosum* L. — L'*Illecebrum suffruticosum* L. est une Caryophyllacée inférieure du groupe des Paronychiées — particulière aux garigues de l'Espagne, de l'Algérie et du Maroc — dont les affinités ont été diversement interprétées. On s'est sans doute rendu compte de bonne heure qu'elle n'appartenait pas au genre *Illecebrum*, dans le sens où ce groupe est circonscrit depuis plus d'un siècle, mais on l'a rapportée tantôt au genre *Herniaria*, tantôt au genre *Paronychia*. Ce désaccord provient de ce que les auteurs n'ont pas fait une étude détaillée de la fleur et du fruit, fort petit, il est vrai. C'est pour combler cette lacune que le présent travail a été entrepris, en complétant l'examen morphologique par une étude anatomique. Les principaux résultats de ce travail sont les suivants :

Le calice gamosépale se compose d'un tube obconique et de cinq pièces en forme de capuchon, pourvues d'une apophyse dorsale. Les cinq staminodes alternisépales sont insérés sur le tube à la hauteur des sinus; les cinq étamines épisépales sont logées à l'intérieur des capuchons. Le pollen est à 10-12 pores. L'ovaire se compose de deux carpelles ouverts concrescents; il porte un style à deux stigmates antéro-postérieurs; il est uniloculaire et contient un ovule unique, campylotrope, bitégumenté, placé au sommet d'un long funicule, à micropyle infère. Dans la suite, le funicule s'allonge, la semence se renverse, le micropyle devient supère, ce qui a pour conséquence que la radicule de l'embryon incurvé est dirigée vers le sommet de l'ovaire.

Ces caractères font, sans contestation possible, de l'*Illecebrum suffruticosum* une espèce du genre *Paronychia*. A l'intérieur de ce genre, cette espèce doit former une section spéciale *Pseudherniaria*, caractérisée par la présence de cymes terminales, par les stipules bractéiformes réduites, et par un phellogène caulinaire péricyclique. Ce dernier caractère est très remarquable : les *Paronychia* étudiés jusqu'ici ayant un phellogène hypodermique.

L'auteur donne encore de nombreux détails sur la structure intime de la tige et de la feuille dans leurs rapports avec l'écologie de la plante.

Le travail de M. Briquet fait d'ailleurs l'objet d'un mémoire détaillé, avec figures, dans l'*Annuaire du Conservatoire et du Jardin botanique de Genève*, t. XIII-XIV.

M. F.-Louis Perrot. *Sur quelques constantes physicochimiques des gaz liquéfiés.*

Au cours des recherches sur les gaz liquéfiés, qu'il poursuit en collaboration avec M. Georges Baume, l'auteur a été conduit à déterminer ou à reprendre la densité et la tension de vapeur à différentes températures d'un certain nombre d'entre eux.

La méthode employée, extrêmement simple, a permis de contrôler d'une façon directe la méthode volumétrique utilisée dans les recherches des mêmes auteurs sur les courbes de fusibilité des mélanges gazeux; la précision a été trouvée de l'ordre de 1 : 1000, conformément aux résultats du calcul.[1]

Les gaz étudiés, purifiés par liquéfaction et distillations fractionnées, étaient conservés à l'état liquide dans une ampoule convenablement refroidie et réunie au reste de l'appareil; celui-ci, débarrassé de toute trace d'air, était entièrement construit en verre soudé.

Les mesures de densité ont été effectuées au moyen d'un dilatomètre annulaire (contenant le thermomètre indicateur), convenablement gradué et calibré. Comme précédemment,[2] MM. Perrot et Baume ont déterminé volumétriquement le poids du gaz, dans un ballon jaugé, maintenu à 0°, avant son introduction dans le dilatomètre; les indications d'un manomètre gradué, joint à l'appareil, permettaient de calculer le poids du gaz contenu dans le ballon, à condition de connaître sa densité et sa compressibilité. Il suffisait ensuite de condenser la quantité voulue de gaz dans le dilatomètre, au moyen d'air liquide.

Les auteurs ont déterminé la densité des gaz liquéfiés à diverses températures, par réchauffement très lent et agitation fréquente du liquide par le thermomètre indicateur, dans une enceinte transparente convenablement protégée contre le rayonnement; les résul-

[1] Cf. G. Baume. *Journal chim. phys.*, t. IX, p. 269, 1911.

[2] Cf. G. Baume. *Comptes rendus*, t. 148, p. 1322.

tats obtenus au cours de mesures successives ont présenté une concordance satisfaisante.

C'est par une méthode semblable qu'ont été mesurées les tensions de vapeur des divers gaz étudiés au moyen de l'appareil employé pour l'étude du point de congélation des mélanges gazeux aux basses températures, la température étant maintenue uniforme au sein de la masse liquide par agitation électromagnétique ; les tensions étaient indiquées par le manomètre soudé à l'appareil.

Les auteurs publieront ailleurs les tables de densités et de tensions de vapeur établies suivant les indications qui précèdent ; ils donnent simplement dans le présent résumé, à titre d'exemple :

1° La concordance de quelques mesures effectuées sur SO_2 avec les mesures antérieures (densités):

	T = —52°	—35°	—17°
Mesures anciennes....	1.560	1.521	1.478
P. et B..............	1.559	1.520	1.479

2° La concordance de trois séries de mesures sur l'oxyde de méthyle, correspondant à des remplissages du dilatomètre aussi différents que possible (Densités de $(CH_3)_2O$ à —70°) :

0.798; 0.797; 0.797.

3° Un tableau résumant les résultats obtenus pour les divers gaz étudiés par MM. Perrot et Baume :

	(Tempér. de fusion) T_f absolue centigr.	(Temp. d'ébull. sous 760^{mm}) T_e absolue centigr.	(Densité entre T_f et T_e) T=temp. absol.
CH_4....	89.0(—184°)	108.3(—164°7)	0.466 (à —164°)
C_2H_6 ...	100.5(—172°5)	188.9(— 84°1)	—
HCl....	161.6(—111°4)	189.9(— 83°1)	1.706—0.00276 T
H_2S....	190.0(— 83°)	212.8(— 60°2)	1.328—0.00171 T
$(CH_3)_2O$.	134.5(—138°5)	—	—
NH_3....	194.8(— 78°2)	239.5(— 33°5)	1.022—0.00145 T
SO_2....	200.7(— 72°3)	263.0(— 10°)	2.122—0.00232 T

M. le prof. L. Duparc, en son nom et en celui de MM. Jeanneret et Wunder, fait une communication sur le *dosage et la séparation du zircon d'avec la silice, le fer et l'alumine.*

Ces messieurs ont d'abord constaté que l'oxyde de zirconium, traité par évaporation réitérée avec l'acide fluorhydrique et calcination subséquente perd progressivement de son poids. Par contre, un traitement analogue fait en présence d'acide sulfurique n'entraîne aucun changement de poids, ce qui permet en toute sûreté de volatiliser la silice sans entraîner le zircon.

Puis ces messieurs ont essayé l'action du carbonate de soude fondu sur la zircone, ainsi que l'action de la potasse, puis celles

d'acides à différentes concentrations. Il résulte de leurs recherches que sur un mélange des trois oxydes de fer, zircon et alumine la séparation de ces éléments peut être faite aussi.

Le mélange est fondu avec le carbonate de soude avec répétition de l'opération. L'alumine passe intégralement en solution. Après lavage, le résidu insoluble est traité par l'acide chlorhydrique qui dissout totalement le fer sans entraîner de traces de zircon. Il reste simplement à calciner ce dernier élément, et dans chaque solution à reprécipiter le fer par l'ammoniaque et l'alumine par le nitrate d'ammonium.

Séance du 1er juin

Raoul Gautier. Les retours de froid en juin. — Th. Tommasina. Sur une modification donnant une plus grande liberté d'allure et plus de sûreté aux aéroplanes.

M. Raoul Gautier fait une communication sur *les retours de froid en juin* [1]. Avec la collaboration de M. H. Duaime, M. R. Gautier a étudié cette question sur les séries météorologiques de Genève et du Grand Saint-Bernard. Conformément aux résultats obtenus par MM. *Hellmann*, *Krankenhagen* et *Marten*, il y a, à Genève et au Saint-Bernard, comme ailleurs en Europe, en moyenne, un retour marqué de froid dans la deuxième décade du mois de juin, *mais seulement pour la seconde moitié du XIXe siècle et le commencement du XXe*.

Si l'on remonte plus haut en arrière et, pour Genève, jusqu'en 1796, on ne retrouve plus du tout ce retour de froid à ce moment-là du mois. Il n'est donc pas motivé de considérer ce retour de froid comme normal au milieu de juin. L'étude d'autres séries d'observations un peu prolongées donnerait probablement les mêmes résultats qu'à Genève.

M. Th. Tommasina. — *Sur une modification donnant une plus grande liberté d'allure et plus de sûreté aux aéroplanes.*

Le but de cette Note est de proposer une modification pour empêcher surtout le capotage. Les aéroplanes actuels, monoplans et biplans, ont, comme on sait, une partie rigide constituée par le châssis muni de roues et de patins, les supports des réservoirs à essence et à huile, les sièges pour les passagers, pour le pilote, avec levier et volant, ainsi que toute la partie non gauchissable de

[1] Voir aussi : *Archives* 1910, t. XXX, p. 314, et, pour la note détaillée, 1911, t. XXXI, p. 497; — puis : *Verhandlungen der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft*, 93. Versammlung, Bâle 1910, vol. I, p. 328.

la voilure. En outre, ils ont en avant le moteur avec son propulseur à hélice (je ne m'occupe pas des appareils avec moteur à deux propulseurs placés en avant ou en arrière), qui se trouve également fixé au bloc indéformable de la machine, de façon que l'axe de rotation du propulseur a une direction invariable. La modification que je propose, met à la disposition du pilote le changement de la direction de l'axe du propulseur par rapport à l'axe longitudinal de l'aéroplane, c'est dire que le pilote pourra changer à volonté et instantanément la direction suivant laquelle se fait dans l'air le travail d'avancement ou de traction dû exclusivement à l'hélice, faisant ainsi, quand cela est nécessaire, jouer le rôle de gouvernail à tout l'ensemble rigide de l'aéroplane. Ce nouveau pouvoir, que ma modification donne au pilote, a une importance capitale, car il lui fournit le moyen d'exécuter les opérations suivantes :

1° Dominer les perturbations de l'air, les coups de vent, les remous, etc., ayant une plus grande agilité de mouvement pour pouvoir entrer normalement dans le vent, en l'empêchant ainsi de nuire à la stabilité de l'appareil, lui faisant produire, au contraire, un travail utile.

2° Obtenir les avantages du vol plané sans couper l'allumage, et dans les conditions qui le rendent dangereux ou même impossible aux appareils actuels.

3° Diminuer le rayon de courbure des trajectoires en spirale, soit à la montée, soit à la descente.

4° Pouvoir atterrir en espace libre et convenable, relativement étroit.

5° Décoller au départ, après un parcours de quelques mètres seulement.

6° Éviter la rupture de l'hélice lors d'un atterrissage un peu brusque, permettant d'atterrir tangentiellement.

7° Éviter, dans le même cas, un fossé, une barrière, un groupe de personnes ou un obstacle quelconque.

8° Prendre le vol du pont d'un navire et y faire retour.

Il y a d'autres avantages et opérations possibles, que je ne cite pas pour abréger, et la pratique en montrera d'autres encore. Mais, ce qui est important de constater, c'est que les opérations qui viennent d'être indiquées suffisent pour éviter, pour éliminer même, le terrible danger du capotage. On sait qu'il peut se produire autant au départ qu'à l'arrivée, quand la vitesse est insuffisante pour que les voilures du gouvernail de profondeur donnent leur effet utile ordinaire. En d'autres cas, ce dernier ne peut agir à cause de l'instantanéité de réaction qu'on lui demande ; c'est, par exemple, lorsqu'il se produit une panne du moteur, ou lorsqu'on coupe l'allumage pour atterrir rapidement avant d'atteindre un

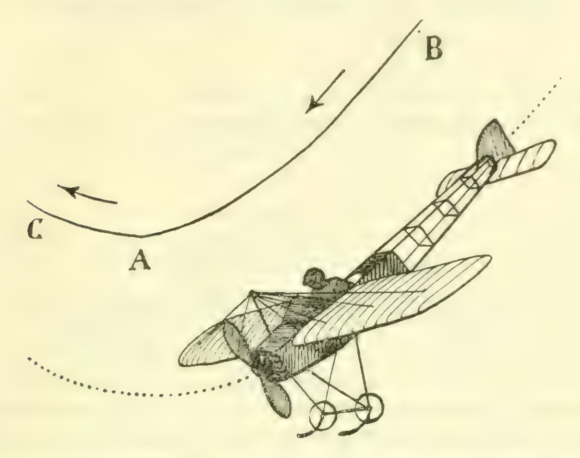
obstacle imprévu, qu'il faut éviter et qu'on ne peut autrement. Si l'aviateur n'est pas tué ou blessé, en tous cas, sa machine est rendue inutilisable pour la continuation immédiate du voyage.

Je me suis intéressé à cette question, par devoir humanitaire, posant le problème au point de vue de l'application exacte des lois qui régissent les réactions entre solides et fluides en mouvement.

La machine actuelle vole en glissant entre deux couches d'air qu'elle sépare, entraînée par une hélice, qui, à cause de sa grande vitesse de rotation, crée dans l'air la résistance nécessaire pour s'y visser. Sa vitesse d'avancement est moindre que la précédente, mais elle est suffisante pour créer l'autre résistance qui sert de support à la machine glissante. C'est le vol de l'oiseau planeur. Or, la première chose qui frappe l'observateur, est la rigidité de la machine, qui fait contraste avec l'agilité de l'être vivant. Si on considère le moteur comme la tête de l'aéroplane, on voit qu'à la place du bec elle porte l'hélice qui est son organe de propulsion. Cette seule considération suffit pour montrer qu'entre les multiples mouvements de l'oiseau, il y en a plusieurs qui ne seraient pas utiles à l'aéroplane. D'autres, qui le seraient, ont été étudiés et en partie réalisés, ce sont ceux qui ont donné l'idée du gauchissement des ailes, et celle des gouvernails de direction et de profondeur, qui fonctionnent comme la queue de l'oiseau. On n'a pas cru devoir tenir compte du rôle que joue, en certains cas, l'inclinaison et le relèvement instantané de la tête de l'oiseau. Ainsi, par exemple, quand en descendant en vol plané, suivant la trajectoire BA, l'oiseau veut modifier celle-ci en A, pour remonter suivant AC, le relèvement de sa tête a une importance évidente, autant pour une trajectoire plane que pour une elliptique ou quelconque. Cela rappelle l'atterrissage rapide de l'aéroplane et la décision de la modification instantanée qui donne lieu au capotage. Pour l'éviter, lorsque l'inclinaison est telle que l'action du gouvernail de profondeur postérieur n'est plus suffisante, il faut faire comme l'oiseau, faire relever la tête de l'aéroplane, et il suffira d'un relèvement minime dans le plan vertical axial, l'effet utile étant prompt, précisément parce que l'aéroplane porte son propulseur à la place du bec, ce qui, dans ce cas, lui fait un avantage précieux, car il faut naturellement que le moteur soit en marche pour que le relèvement de l'axe de vissement puisse modifier instantanément la trajectoire du vol. Pourtant, son utilité se montrerait encore, tout en produisant une déviation moins rapide, dans le vol plané d'atterrissage régulier à moteur éteint, par l'effet de l'inclinaison de la couverture métallique de forme spéciale qu'il faudra lui adapter.

On modifiera donc le mode de fixage actuel du moteur sur le châssis, et on le remplacera par une suspension permettant une rotation minime sur son axe transversal et horizontal, normale-

ment à celui-ci; l'essai pratique en fixera les limites. Cette rotation se fera ainsi sur l'axe qui passe par le centre de gravité du bloc rigide moteur-hélice, de façon que le soulèvement du point central correspondant à l'attache de l'hélice au moteur, n'occasionne



aucun déplacement de poids, pouvant modifier l'équilibre de l'aéroplane, sauf dans le cas que la chose puisse être jugée utile. L'essentiel est que le bras du levier de commande se trouve près de la main droite du pilote. Une simple pression sur le levier, qui se déplacera par crans, avec cliquet d'arrêt, fera incliner vers le haut l'axe du bloc moteur-hélice donc la direction, comme il a été dit, du travail de propulsion. Il n'y aura aucune possibilité pour que l'aviateur affolé, en se trompant de sens, comme il est déjà arrivé pour le gouvernail de profondeur, puisse faire la manœuvre inverse, par la simple raison que la rotation doit s'arrêter au plan horizontal passant par l'axe longitudinal de l'aéroplane. Probablement, on a cru, jusqu'ici, avoir des bonnes raisons pour ne pas introduire la modification que je propose, j'insiste d'autant plus, s'il en est ainsi, sur son utilité, étant certain que l'actuation pratique la mettra immédiatement en évidence, son exécution ne présentant d'ailleurs aucune difficulté, et n'augmentant que de quelques kilos le poids de l'aéroplane.

COMPTE RENDU DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ VAUDOISE DES SCIENCES NATURELLES

Séance du 15 mars 1911

Cornetz. Faits concernant le retour au nid de la fourmi exploratrice. — Grin-Voruz. Voyage dans l'île de Robinson Crusoë.

M. Cornetz. *Faits concernant le retour au nid de la fourmi exploratrice* (présenté par M. Linder). — Etant donné au point N l'orifice unique large de 4 à 5 centimètres d'une tribu de fourmis *Messor barbarus*, on observe au point P une ouvrière Messor bien isolée et paraissant chercher une provende. On pose sur le sol à portée de ses antennes un petit support d'écorce portant quelques graines. La fourmi ayant pris une graine file vers le gîte. La ligne de ce retour quasi direct est une suite de longues sinuosités très aplaties. Ce retour n'est nullement pénible, fait général pour plusieurs espèces que j'avais à ma disposition. Ce retour est aisé, facile, rapide, sans arrêts. La fourmi ne «cherche pas sa route», elle ne «trouve pas son chemin». En effet, en balayant fortement le sol poussiéreux au-devant d'elle, sa marche toujours bien dirigée continue aussi aisément qu'auparavant.

L'erreur capitale est de se figurer que la fourmi revient de P vers N, c'est-à-dire de l'est vers l'ouest parce que son gîte est par là-bas, à l'ouest du point P. C'est ce que démontre les expériences dans lesquelles, par exemple, on transporte la fourmi avec sa provende à l'opposé du nid.

La fourmi revenant de P, où elle a trouvé une provende, vers son nid, ne marche nullement ainsi parce que son gîte est par là-bas, à l'ouest de P, attendu que posée à l'opposé du gîte *elle marche aussi vers l'ouest*. Ce ne sont donc point vue, tact et odorat qui déterminent ainsi l'insecte à faux!

La fourmi marche au retour de P de l'est à l'ouest, parce qu'elle avait marché en sens inverse auparavant en cours de son éloignement du gîte.

Cette direction PN que la fourmi possède pour son retour quasi

direct, aisé et rapide, elle la possède du fait de son aller au loin. Cette donnée se crée en cours de l'aller.

Une fourmi se trouvant en un point P quelconque ne peut en revenir par un retour direct et rapide PN que si elle a fait *d'elle-même* un aller du gîte en ce point P.

La trace du retour de la fourmi exploratrice est *toujours* différente dans ses détails de la trace de son aller au loin ; elle en est le plus souvent fort distante (environ 200 observations pour sept espèces de fourmis). Lorsqu'elle a recoupé sa trace de l'aller lors de son retour, elle ne l'a *jamais* reprise.

Posée à des distances minimes de l'orifice unique du gîte, la fourmi erre. Ses antennes sont donc incapables de lui rendre à distance, en ce qui touche l'odeur de l'orifice et des quelques déblais, un service analogue à celui que rendent par exemple les antennes de la télégraphie sans fil. On apprend cela *en lui laissant les dits organes*. En l'occurence, l'ablation des antennes, utiles pour d'autres recherches, serait une expérience négative.

Une expérience montre que par bon vent et *sous le vent* du nid, l'attraction odorante de l'orifice, large de 4 à 5 centimètres, porte au maximum pour les grandes Messors à 0^m 80 ou 0^m 90.

Par contre, il est bien connu que de grands corps odorants attirent certaines fourmis à plusieurs mètres. Ainsi un tas de fumier, la terre fumée, de gros tas de feuilles mortes commençant à pourrir, des tas de raisins pressés, le figuier à odeur très pénétrante, etc.

Deux remarques ont encore quelque intérêt. L'exploratrice revenant de P vers N manque souvent le trou au retour et cela lorsqu'elle n'a pas eu la chance de recouper une sente de sa tribu. Alors commence une recherche lente, pénible, tâtonnante, à proximité du gîte. C'est donc exactement le contraire de ce qui se passe chez les hommes, lesquels se retrouvent d'autant mieux qu'ils sont plus près de leur demeure, alors qu'ils auraient maintes difficultés, dont ne fait aucunement preuve la fourmi, au cas où une course un peu lente les aura entraînés en rase campagne à bien des kilomètres de chez eux.

Après deux jours de pluies diluviennes ayant bouché le trou et fait des environs du nid un monde transformé par de la boue et des alluvions, on peut voir, après réouverture du trou, une grande ouvrière partir au loin sur la boue sèche et en revenir aussi aisément qu'en temps ordinaire. Une telle exploration n'a donc *aucun besoin d'une connaissance préalable* de ce monde nouveau acquise progressivement.

Il serait peut-être intéressant de voir si les faits mentionnés s'observent pour d'autres espèces de fourmis que les sept espèces de fourmis que j'avais à ma disposition à Sin Taya (Algérie).

M. Grin-Voruz raconte son *voyage dans l'île de Robinson Crusoë* et illustre son récit de projections très réussies.

Séance du 5 avril.

Murisier. Hybride de Nase. — Perriraz. Un cas de mutation chez le cyclamen. — P. Jaccard. Mycorhyzes endotrophes chez Aesculus et Pavia et leur signification. — A. Maillefer. Expérience de la jacinthe renversée. — E. Bugnion. Poisson-ballon de Ceylan. — S. Biéler. Mâchoire de porc. — F.-A. Forel. Tracés sismographiques.

M. Murisier présente un *hybride de Nase (Chondrostoma nasus L.) et du Blageon (Squalius Agassizii Heck)*, pris dans la Broye par M. le Dr Guex de Moudon, et donné par ce dernier au Musée Zoologique. Cet intéressant poisson, dont quelques auteurs ont fait une espèce spéciale sous le nom de Chondrostoma rysela, est, quoique rare, connu depuis longtemps déjà dans le Rhin; mais c'est la première fois que sa présence est constatée d'une façon certaine dans les eaux vaudoises. M. Murisier se propose, avec la précieuse collaboration de M. le Dr Guex, de tenter la production expérimentale de ces hybrides par la fécondation artificielle.

M. Perriraz. — *Un cas de mutation chez le cyclamen.* On sait que les cas de mutations typiques sont relativement rares; de Vries en signale et en a obtenu quelques-uns (voir à ce propos: Espèces et Variétés). Il y a cinq ans, M. Walter obtenait dans un semis de cyclamens de Perse un exemplaire dont les fleurs étaient érigées au lieu d'être penchées. L'aspect général de la plante, complètement changé, lui donna l'idée d'en faire une culture spéciale destinée à la vente. Comme il n'y avait qu'un seul pied possédant ce caractère, il en pollinisa les fleurs avec le pollen des fleurs de variétés frisées et de teintes différentes. Les résultats obtenus sont remarquables par les variations dans la forme générale de la plante. La grandeur des fleurs a varié sur une très large échelle, quelques-unes atteignaient 14 cm. de diamètre; les coloris sont étonnants de variétés; la forme et la grandeur des feuilles, ainsi que leurs taches possèdent des formes nombreuses; le nombre des corolles atteint des chiffres élevés; ces différents caractères en font une plante horticole de premier ordre.

Au point de vue théorique, le cas est intéressant; nous avons affaire à une mutation typique. En effet, ce sport s'est produit dans un semis quelconque et malgré les recherches faites sur les parents, aucun caractère ne pouvait faire prévoir un pareil résultat. D'après de Vries, la mutation est héréditaire, l'est-elle dans ce cas? Nous

avons vu que la pollinisation avait été effectuée au moyen du pollen de fleurs ordinaires et penchées, il fallait donc s'attendre à avoir un déchet d'au moins 50 %, soit autant de plantes à fleurs dressées que penchées; ce résultat aurait été obtenu si les gamètes eussent été d'égale force; la première année, sur 83 pieds obtenus par semis, 61 étaient fidèles au pied mère; ce fait est surprenant; nous sommes en présence d'une mutation entre hybrides de variétés, dont le pourcentage héréditaire est remarquable; actuellement il est tombé à 50 %, quoique les pollinisations fussent toujours faites avec du pollen de fleurs penchées. Les essais continueront encore quelques années.

M. Paul Jaccard (Zurich). — *Mycorhyzes endotrophes chez Aesculus et Pavia et leur signification.* — Le marronnier d'Inde ne paraît pas aussi complètement réfractaire à la formation de mycorhyzes qu'on l'admettait jusqu'ici. En 1904, l'auteur examinant attentivement le système radiculaire d'un marronnier du jardin de l'Ecole forestière de Zurich, trouva les petites radicelles latérales (Kurzwurzel) de cette plante bourrées d'hyphes et transformées en mycorhyzes endotrophes typiques. Des racines d'*Aesculus* et de *Pavia*, récoltées dans diverses stations (environs de Zurich, Wesen, Vitznau, Tessin), fournirent un certain nombre d'exemplaires infestés à côté d'autres parfaitement indemnes.

Afin de déterminer la cause de cette inégale distribution, des marrons furent mis à germer en 1907 et les plantes cultivées, partie dans diverses plates-bandes du jardin, partie dans de pots remplis de terre stérilisée et placés dans le voisinage des plantes libres. Une partie des pots étaient percés inférieurement de façon à permettre à la racine principale de pénétrer dans le sol du jardin. L'examen effectué dans le courant du mois dernier (mars 1911), après quatre ans, a montré que *seules les plantes cultivées dans des pots sans communication directe avec le sol étaient infestées*, tandis que les racines des plates-bandes ainsi que celles des pots percés ne montraient pas trace d'hyphes. Grâce au peu de terre disponible, les plantes mycorhyzées, quoique parfaitement saines et normales, étaient restées petites. Bien que la terre des pots fut stérilisée et qu'un contrôle fait après une année n'ait pas décelé la présence d'hyphes dans les racines, les champignons habitant le sol avoisinant ne tardèrent pas à l'envahir.

La formation de mycorhyzes dans les marronniers cultivés en pots nous apparaît donc comme le *résultat de la vie ralentie imposée à la plante*. Grâce à leur nutrition et à leur croissance moins vigoureuse, les plantes ainsi cultivées en espace restreint n'offrant plus à l'attaque des champignons du sol la même résistance, ceux-ci pénètrent dans les radicelles latérales et de là dans tout le parenchyme cortical des racines longues (Triebwurzel).

Les résultats des expériences faites permettent donc de conclure que la pénétration et le développement des hyphes dans le système radiculaire d'*Aesculus* et de *Pavia*, spécialement dans les racines courtes, *est un phénomène de parasitisme caractérisé et non point de symbiose.* Il s'agit là, il est vrai, d'un parasitisme à peu près inoffensif rentrant plutôt dans le commensalisme. Les hyphes absorbent les substances dissoutes dans le suc cellulaire sans attaquer directement le plasma cellulaire. La substance qui sert d'aliment au champignon est un *phloroglycoside* répandu dans toutes les cellules vivantes du parenchyme cortical et dont la proportion diminue notablement dans les racines infestées.

L'endophyte dont la nature spécifique n'a pas été établie, se rapproche, par tous ses caractères, des autres endophytes mycorhyziens; il forme des *arbuscules*, des *sporangioles*, et accumule des réserves dans de grosses *vésicules* de forme sphérique ou elliptique. L'activité du champignon cesse avec le desséchement des racines courtes, desséchement qui se produit aussi sans l'intervention du champignon, mais qui paraît accéléré par sa présence, puis, par l'exfoliation de l'écorce dans les racines longues, exfoliation provoquée par la formation d'une assise subéreuse péricyclique.

M. Arthur Maillefer a répété l'*expérience de la jacinthe renversée*, de Candolle. Il montre que dans le cas d'une jacinthe qu'on fait croître la tige en bas dans l'eau, la faculté de réagir par une courbure géotropique n'est pas abolie. Si la tige descend verticalement dans le liquide, cela tient au fait que, les feuilles formant un écran contre la paroi du vase, la lumière arrive surtout d'en bas sur la tige, provoquant un phénomène d'héliotropisme plus fort que le géotropisme.

M. E. Bugnion. — *Le Poisson-ballon de Ceylan.* — Blow-fish, Globe-fish. Tétraodon ou Tétrodon.

Rangé dans l'ordre des Plectogates, le Tétraodon offre la propriété curieuse de pouvoir, quand il vient à la surface, se gonfler d'air et flotter comme un ballon. C'est là, prétend-on, un moyen de protection (Moreau, *Poissons de France*, II, p. 71). La peau de l'abdomen est garnie de petites épines qui, se redressant par l'effet du gonflement, protègeraient l'animal contre les attaques. — Si, ce qui arrive fréquemment, le Tétraodon ne se gonfle pas de lui-même, on peut l'insuffler en soufflant un peu fort sur l'orifice de la chambre branchiale, l'air qui s'accumule dans l'estomac est retenu à l'intérieur du corps par un opercule placé au-devant de l'orifice. M. B. présente plusieurs Tétraodons qui, insufflés de cette manière quand ils étaient en vie, ont pu être conservés *gonflés* dans le formol à 4 %.

Les poissons-ballons qui ont fait l'objet de cette étude (cinq espèces) ont été pêchés à l'hameçon dans le lac d'Ambalangoda. Ce lac, dont l'eau est un peu saumâtre, communique avec la mer par un canal. Les sujets adultes, qui atteignent 30 cm. de longueur, se trouvent, au dire des pêcheurs, exclusivement dans l'Océan.

La dissection révèle les dispositions suivantes : les mâchoires sont revêtues d'une lame osseuse qui, divisée sur la ligne médiane par une fente verticale, simule quatre grosses incisives (Tétraodron).

La cavité buccale, relativement étroite, s'ouvre dans un vaste pharynx (chambre branchiale). Il y a de chaque côté trois arcs branchiostèges fixés par les deux bouts aux parois de la chambre, invisibles de l'extérieur. L'orifice, qui fait communiquer la chambre avec le dehors, long de 10 à 12 mm., se trouve immédiatement au-devant de la nageoire pectorale. L'œsophage, long de 8 mm. seulement, s'ouvre dans une poche ovoïde, celle qui se gonfle quand on insuffle. Cette poche se continuant d'autre part avec l'intestin, c'est bien un estomac qu'elle représente ; mais un estomac modifié, très extensible et, paraît-il, privé de glandes. Le pylore est d'ailleurs très rapproché du cardia, à 15 mm. à peine en arrière de celui-ci. Une gouttière, nettement délimitée, conduit directement d'un orifice à l'autre, tandis que le sac extensible, vaste poche appendue en-dessous de la gouttière, se trouve manifestement en dehors du trajet. Aussi remarque-t-on que l'intestin renferme dans toute sa longueur des débris d'aliments (écailles de poisson, arêtes, fragments de coquilles), tandis que la poche stomacale n'en présente aucune trace. La cavité péritonéale est elle-même divisée en deux étages : 1° un supérieur (cavité viscérale proprement dite) contenant tous les viscères à l'exception de la poche à air; 2° un inférieur renfermant la poche stomacale, capable de se distendre en même temps que celle-ci. Les deux étages sont séparés par un rétrécissement linéaire formé par les muscles de l'abdomen, répondant lui-même aux bords de la gouttière cardio-pylorique.

On comprend dès lors comment cette gouttière fonctionne. S'agit-il de faire passer des aliments du cardia au pylore, les bords de la gouttière se rapprochent par l'effort des muscles, le bol traverse la gouttière sans tomber dans la poche appendue en-dessous. Le poisson veut-il, au contraire, se gonfler d'air, les muscles étant relâchés, l'air passe librement de l'œsophage à l'intérieur de la poche.

M. S. Biéler présente une *mâchoire de porc* portant une dent sous la langue, et des morceaux de peaux de chèvres montrant des cornes ayant crû sur le flanc de ces animaux.

M. F.-A. Forel montre quelques *tracés sismographiques* levés à l'Institut de géodynamique de Rome, par le Dr G. Agamennone, et fait voir comment l'on peut déduire la distance du centre sismique en mesurant le développement des oscillations préliminaires de premier et de deuxième ordre. Elles sont nulles dans les tremblements de terre locaux, et d'autant plus étendues que le centre sismique est plus éloigné.

Séance du 19 avril

H. Blanc. Biologie marine. — F. Cornu. Clichés autochromes.

M. Henri Blanc. Exposé des *principaux résultats acquis jusqu'ici en Océanographie dans le domaine de la biologie marine.* Après avoir caractérisé les divers milieux appelés littoral, pélagique, bathypélagique et abyssal, il insiste sur les adaptations générales et particulières que présentent les animaux récoltés dans les grands fonds des océans appartenant à la faune bathypélagique et au benthos abyssal; s'aidant de nombreuses projections, il démontre ce que sont les organes phosphorescents et les transformations parfois profondes que peuvent subir les organes visuels chez divers animaux des abysses.

M. F. Cornu projette une série de *clichés autochromes* représentant des paysages à diverses saisons, ainsi que des plantes de serre.

Séance du 3 mai

Morton. Collection d'ornithoptères. — Bugnion. Eutermes monoceros et Coptotermes flavus. — J. Perriraz. Plantes fossiles. — S. Biéler. Lingot de fer. — P.-L. Mercanton. L'enneigement en 1910.

M. Morton présente une *collection d'ornithoptères.* Le genre Ornithoptera renferme cent cinquante-deux espèces et variétés qui, sauf deux africaines, habitent les régions indo-australes, s'échelonnant depuis l'Hymalaya jusqu'aux îles Salomon. Leurs formes varient beaucoup, ainsi que leur coloration qui est très riche et brillante chez les mâles. Ce sont de grands papillons, bien développés dont les chenilles, couvertes d'excroissances charnues, se nourrissent d'aristoloche. L'Ornithoptera Alexandræ, avec des plus belles formes, a été récemment découverte dans la Nouvelle-Guinée.

M. Bugnion présente deux communications. La première : « Nouvelles observations sur le Termite noir *(Eutermes monoceros)* ».

La deuxième, relative au *Coptotermes flavus* (jeunes larves portant, au sortir de l'œuf, des rudiments d'ailes prothoraciques), a été adressée à la Société zoologique de France.

Répondant à une question posée par M. le professeur Blanc, M. Bugnion dit que de nombreux soldats et ouvriers *(termes)* disséqués par lui, n'ont montré aucune trace de glandes sexuelles. Les individus de ces deux castes (espèces de Ceylan) paraissent être absolument privés de sexe. Le soldat est, par la structure de sa tête, si différent des autres castes, qu'une différenciation tardive (ensuite d'un certain régime imposé à la larve) est à peu près inadmissible. L'opinion de M. Bugnion est que le soldat se différencie durant la phase embryonnaire. Peut-être cette différenciation se fait-elle au moment de la fécondation, par l'effet de spermies spéciales, comme la détermination du sexe. L'auteur a réussi à distinguer des soldats déjà bien caractérisés parmi les petites larves *(Termes Redemanni)*, longues de 1 1/2 millimètre seulement, écloses depuis peu, nourries avec des larves d'ouvriers sur les jardins de champignons, soumises manifestement au même régime.

Pour ce qui est des ouvriers, l'idée d'une différenciation tardive (suivant la phase larvaire) est déjà plus plausible; l'ouvrier est, en effet, par la disposition des pièces buccales, très voisin de l'imago. On peut donc le considérer comme dérivé de l'imago ensuite d'atrophie des glandes sexuelles. Cette atrophie, beaucoup plus complète que chez l'abeille ouvrière, aurait eu comme conséquence la disparition des yeux, des oreilles, des ailes et, dans quelques cas, la réduction des antennes. Toutefois, ce n'est pas à une prétendue «castration parasitaire» qu'est due l'atrophie des glandes sexuelles dans la caste des ouvriers. On constate, au contraire, que les *Calotermes (Greeni, dilatatus, flavicollis),* dont les larves ont l'intestin postérieur bourré de Trichonymphides, ne forment pas d'ouvriers distincts, tandis que les Termites vrais, chez lesquels les infusoires ciliés font défaut, offrent une caste d'ouvriers bien accusée. Les théories émises par Grassi et Emery paraissent à cet égard en désaccord avec les faits.

Quant aux femelles néotènes, la question d'origine n'est pas encore tranchée. Il est toutefois probable que les Termites ne forment pas cette sorte de reines au moyen de larves asexuées, mais que les femelles néotènes proviennent de nymphes déjà par elles-mêmes pourvues d'ovaires. Certains Termites primitifs *(Calotermes)* offrent, à côté d'images aigües, des femelles aptères dans une proportion assez constante.

M. J. Perriraz présente une série de coupes de roches renfermant des plantes fossiles. Ces coupes sont déposées au musée de Vevey.

M. S. BIÉLER présente un *lingot de fer* de 5 kg. 3, en forme de double pyramide quadrangulaire, qui a été trouvé à Niedens, par M. E. Varidel, dans un fossé de drainage en terrain tourbeux, à 1 m. 30 de profondeur. D'après les renseignements donnés par M. Forel, on signale un certain nombre de ces lingots de même forme et de poids analogue, paraissant d'origine celtique. On en a trouvé près d'Echallens et dans les cantons de Berne et de Zurich.

M. Paul-L. MERCANTON donne des renseignements sommaires sur *l'enneigement en 1910*. De plus amples détails paraîtront à l'annuaire du C. A. S. pour 1911.

L'enneigement des Alpes suisses a été progressif en 1910. Cela résulte tant des observations sur l'état des neiges gisantes que des opérations nivométriques. Les hautes régions des glaciers présentaient une surface remarquablement dépourvue de crevasses; les sommets de 3000 mètres et au-dessus étaient fortement enneigés au printemps et se dépouillèrent peu, les cônes d'avalanche remplirent très tard les couloirs; des névés persistèrent où l'année précédente le gazon apparaissait ; de nombreux lacs alpins dès 2700 mètres ne dégelèrent qu'à moitié ou même pas du tout. Enfin, en bien des endroits, la montée de l'alpage fut retardée d'une dizaine de jours et la descente précoce. Les ascensions furent gênées, parfois même empêchées.

Le nivomètre d'Ornex a indiqué pour l'hiver 1909-1910 une accumulation de dix mètres, et pour l'été 1910 une ablation de sept mètres seulement, ce qui laisse un résidu positif de trois mètres. La conséquence de ce relèvement de la nappe nivale s'est fait sentir ce printemps: le nivomètre, trop court, était caché encore le 16 avril 1911. Même constatation à la station Eismeer, du chemin de fer de la Jungfrau, l'accumulation surpasse de 6,5 mètres (à l'échelle nivométrique) la dessication estivale. Enfin, le nivomètre des Diablerets reste invisible tout l'été et se dégage à peine à fin septembee.

Dans l'Entremont, où l'épaisseur de la neige gisante est mesurée tous les quinze jours le long du parcours télégraphique Orsières-Saint-Bernard, le maximum a été constaté vers le 1er mars. Un minimum secondaire est apparu vers le 1er janvier 1910 pour toutes les altitudes inférieures à 1900 mètres. Ce minimum est vraisemblablement dû aux pluies chaudes de fin décembre. La disparition de la neige a été, surtout aux altitudes supérieures, plus tardive qu'en 1909.

COMPTE RENDU DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ NEUCHATELOISE DES SCIENCES NATURELLES

Séance du 13 janvier 1911

Eug. Mayor. Biologie des Urédinées. — Billeter. Recherche médico-légale de l'arsenic.

M. le Dr Eug. Mayor fait une communication sur la *biologie des Urédinées*. Il expose d'abord l'historique de cette question qui a donné une orientation toute nouvelle à la mycologie en même temps qu'elle ouvrait un champ d'étude excessivement vaste et presque illimité. Pour ce qui concerne plus particulièrement les Urédinées depuis un certain nombre d'années un peu partout on se livre à ces recherches expérimentales et biologiques, études qui ont déjà fourni un grand nombre de résultats des plus intéressants, tout particulièrement en ce qui concerne les rouilles hétéroïques, il expose ensuite les procédés employés pour faire les essais d'infection ainsi que la manière dont il faut récolter et préparer le matériel nécessaire à ces expériences ; puis il montre les dangers toujours si faciles d'une infection étangère et les précautions qu'il faut prendre pour se mettre le plus possible à l'abri de ces causes d'erreur tout en se plaçant dans les meilleures conditions pour la réussite des recherches entreprises. Il termine en donnant le résultat de ses expériences personnelles qui ont porté sur 4 espèces d'Urédinées hétéroïques. Malheureusement il ne s'agit encore que de conclusions préliminaires, car les recherches ultérieures sont encore nécessaires pour confirmer ces premières expériences et compléter un certain nombre de points qui n'ont pu être éclaircis entièrement par les essais d'infection entrepris jusqu'à maintenant.

La première espèce étudiée se rattache au groupe de *Puccinia Ribesii-Caricis Klebahn* et semble avoir ses écidies sur *Ribes alpinum*, *Grossularia* et *nigrum*, alors que ses urédos et téleutospores se développent sur *Carex digitata*, *glauca* et peut-être *alba*.

La seconde est *Puccinia longissima, Schröter* ayant ses écidies sur *Sedum reflexum* et ses urédos et téleutospores sur *Kœleria cristata* et *Valesiaca.*

La troisième appartient au type de *Puccinia Actaeae-Agropyri, Ed. Fischer* et semble avoir ses uredos et téleutospores sur *Elymus europaeus* et non sur *Triticum caninum* ou *repens.*

Enfin, dans une séries d'expériences, il s'est efforcé de rechercher sur quelle plante se développent les uredos et téleutospores de l'*Aecidium de Crepis biennis* qu'on rattache à *Puccinia silvatica, Schröter.* D'après les premiers résultats obtenus, il semble qu'on soit en présence d'une espèce différente qui devrait plutôt être rapprochée de *Puccinia Opizii, Bubak.*

M. le prof. BILLETER parle de la *recherche médico-légale de l'arsenic.*

Séance du 10 février

Jaquerod. Machine électro-statique et spectromètre à déviation constante. — A. Mathey-Dupraz. Contribution à la faune du Spitzberg.

M. le prof. JAQUEROD présente deux nouveaux appareils de physique soit une *machine électro-statique* et un *spectromètre à déviation constante.*

M. le prof. A. MATHEY-DUPRAZ communique une *Contribution à la faune du Spitzberg.*

Deux croisières au Spitzberg (1906 et 1910) nous ont permis de réunir des documents sur la faune de cette région septentrionale, lesquels consistent en notes manuscrites, prises au jour le jour, et en spécimens tués ou capturés, que nous avons rapportés. Dans ce résumé, vu la place limitée, nous condenserons nos notes ornithologiques sous la forme d'une liste des espèces observées, en signalant ce qui nous a paru le plus saillant pour chacune d'elles.

Les espèces rencontrées présentent un intérêt réel pour le naturaliste, car toutes, à cette époque de l'année, ont revêtu leur plumage de noces.

OISEAUX. — *Oiseaux observés dans l'Archipel* : 1 Passereau, 1 Rapace nocturne, 1 Gallinacé, 6 Echassiers, 21 Palmipèdes. — *Plectrophanes nivalis* L (170)[1]. Fin juillet on trouve des jeunes au nid, parfois ayant déjà pris leur vol ; le nid est placé dans les éboulis ou dans les tumuli. Les sujets que nous avons eus avaient dans le jabot des boutons de Dryas octopetala, de Saxifraga oppositifolia, des graines de Cochlearia fenestrata. D'autres avaient,

[1] Ces numéros sont ceux du Catalogue des oiseaux de la Suisse.

sur les mandibules et dans le bec, des diptères nombreux. Espèce commune dans le Bell Sund, Advent Point, Flower Valley, Sassendal. — *Nyctea nivea (Thunb) Athene nyctea* L (33). En 1906, nous en avions trouvé une patte à l'entrée de la Flower Valley. Un sujet est vu en 1910, dans la même station, et un second, posé sur un glaçon en dérive à la hauteur de l'Ile du Prince Charles Foreland. — *Lagopus hemileucurus*, Gould. Ce gallinacé est sédentaire et se rencontre sur toutes les pentes couvertes de végétaux nains — principalement dans la région de l'Icefjord. Le 20 juillet 1910, les poussins sont éclos. — Les quelques jabots que nous avons ouvert étaient remplis exclusivement de feuilles et de boutons de Drgas octopetala. Ce qu'il serait intéressant de savoir, comment ces oiseaux se nourrissent durant la mauvaise saison ? — *Strepsilas interpres* L (220). Observé par couple en 1906, sur les rives de l'Advent Bay ; en 1910, à l'embouchure de la Sassen (Icefjord). — *Tringa triata* L (261) *F. maritima* (Brünn). Le bécasseau violet est commun partout, près des ruisselets d'eau douce ; fin juillet les poussins sont éclos. Il se rencontre des bords de la mer jusqu'à 500 mètres d'altitude (Colorado Hills). — *Phaloropus fulicarius* L (273). Commun en 1906 dans l'Icefjord, plus rare en 1910 — mais commun cette même année dans Smeerenburg Bay. — *Anser brachyrhynchus*, Baill. Rencontré une famille au pied du glacier de Scott (1906). — *Brenta leucopsis* (275). Un exemplaire tiré dans un groupe de 7 individus, à la sortie de la Baie de la Recherche (Bell Jund 1906. — *Brenta torquata* (Bechst). En 1910, dans l'Icefjord, 31 bernachés sont tuées, la plupart jeunes de l'année. — *Havelda glacialis*, Leach (301). Trois exemplaires tués en 1906 dans l'Advent Bay. — *Oïdemia fusca* L. (303). Un couple dans la Baie de la Recherche en 1906. — *Somateria mollissima*, L, (306), Commun partout. Niche en colonies, aussi bien près de mer, qu'à 300 mètres d'altitude. En 1906, dans l'île norvégienne extérieure, nous visitions une rockerie, chaque nid contenait 3 ou 4 œufs. Fin juillet, canetons un peu partout. Jabot des adultes contenait des restes de mollusques. — *Somateria spectabilis*, L. (307). Un splendide mâle est tué près du glacier des Renards (Baie de la Recherche) au milieu d'un groupe de canes (sp. ?). En 1910, nous n'en apercevons aucun. — *Uria brünnichii*, Sab. Très commun, rockeries nombreuses au Cap Diabas (Jcefjord), Cross bay, Möller bay, Lilliehöök bay Magdalena bay. Dans l'Océan glacial le 28 juillet 1910 nous rencontrons grond nombre de jeunes, chacun accompagné d'un adulte. — *Uria grylle*, L. (312). Très commun, rockerie dans une falaise de l'Ile norvégienne extérieure en compagnie de mergules et de macareux. Quelques sujets en plumage de transition. — *Colymbus septentrionalis*, L. (321). En 1910,

observé dans la baie de Smeerenburg de la Madeleine et Cross bay. — *Procellaria glacialis*, L. (327). Très commun, surtout près des usines baleinières. — *Lestris parasitica*, L. (330). Assez commun observé par couple, dans l'Icefjord. — *Lestris Buffoni* (oie) (331). *L. longicaudata* (Viell). Toujours par couple. Glacier de Scott, Bellsound (1906). Icefjord (1910). *Larus glaucus* Brünn. Commun dès l'Ile aux Ours. Nid avec 3 jeunes emplumés (25 juillet 1910), baie de Smeerenbourg. — *Rissa tridactyla*, L. (340). Très commune dans toutes les baies, jusqu'aux approches de la banquise. Nous n'observons que des individus adultes. — *Pagophila eburnea* (341). En 1906, deux exemplaires sont tués, encore en plumage de jeunesse, blanc avec de petites taches par ci par là. — *Sterna arctica* (Tenn) (351). Rockeries au fond de la Baie de la Recherche, dans l'Icefjord, la Baie de Smeerenbourg et dans l'Ile norvégienne extérieure. — *Alca torda*, L. (313). Deux individus d'âge différent tués en 1906 dans l'Advent bay. Nombreux en 1910 dans la Baie de la Madeleine. — *Mergulus alle*, L. Commun. Niche dans les éboulis des rives de Icefjord sous les blocs entassés de l'Ile d'Amsterdam. Se rencontre encore sur les glaces flottantes aux abords de la banquise. En 1910, les mergules capturés dans l'Icefjord sont littéralement bourrés de frai. — *Mormon arcticus*, L. Vit en colonies, dans l'Ile norvégienne extérieure, nous n'observons à fin juillet que des adultes, les jeunes sont encore au nid. — *Claugula histrionica* (299). Un couple tué dans l'Advent bay (1906). — *Aegialites hiaticula* (217). Baie de la Recherche et Sassenbay. — *Numeniu sphæopus* (243). En 1906, 3 sujets, 2 ♂ et 1 ♀ dans l'Advent Bay. — *Haematopus ostragelus* L. (221). Un individu en 1906, Advent Bay. Ces notes pourront être complétées ultérieurement.

Séance du 24 février

H. Krebs. Théorie des groupes à un paramètre. — Béraneck. Furonculose des truites.

M. H. Krebs, privat-docent à l'Université de Neuchâtel, expose la *théorie des groupes à un paramètre.*

Cette théorie est basée sur le théorème suivant et sa réciproque (cas particulier du premier théorème fondamental de Lie) :

Théorème. — Si les équations

$$x_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n, a) \qquad (1)$$
$$(i = 1_1 2_1 \dots, n)$$

définissent un groupe à un paramètre, les x', considérés comme

des fonctions des x et de a, satisfont à un système d'équations différentielles de la forme

$$\frac{dx'_i}{da} = \psi(a)\xi_i(x'_1, x_2, \ldots, x'_n) \tag{2}$$

$$(i = 1, 2, \ldots, n)$$

Réciproquement :

Si l'on a un ensemble de ∞' transformations définies par les formules (1) qui satisfont à un système d'équations différentielles tel que celui défini par les relations (2), l'ensemble contenant la transformation identique, le système de transformations donné forme un groupe continu à un paramètre.

Par un changement de variables on ramène les équations du groupe à la forme.

$$y'_1 = y_1, y'_2 = y_2, \ldots, y'_n = y_n + t,$$

qui est dite la forme normale du groupe. Ces équations expriment qu'à toute transformation dans l'espace des x correspond dans l'espace des y une translation parallèle au $n^{ième}$ axe des coordonnées.

L'application de la théorie des groupes à un paramètre aux équations différentielles ordinaires a donné des résultats remarquables.

Supposons qu'une équation différentielle ordinaire d'ordre n

$$F\left(x, y, \frac{dy}{dx}, \ldots, \frac{d^n y}{dx^n}\right) = o \tag{3}$$

admette un groupe connu de transformations

$$\begin{cases} x' = f(x, y, a) \\ y' = \varphi(x, y, a), \end{cases} \tag{4}$$

c'est-à-dire que cette équation (3) soit identique à l'équation obtenue en effectuant sur x et y le changement de variables défini par les équations du groupe (4). Par un changement de variables ramenons les équations (4) à la forme normale du groupe

$$\begin{cases} u' = u \\ v' = v + t \end{cases} \tag{5}$$

Le même changement de variables, appliqué à l'équation (3) conduit à une équation du même ordre

$$\varphi\left(u, v, \frac{dv}{du}, \ldots, \frac{d^n v}{du^n}\right) = o \tag{6}$$

Par hypothèse cette équation (6) admet le groupe (5), c'est-à-dire ne change pas quand on remplace v par $v + t$; donc elle doit être de la forme

$$F_1\left(u, \frac{dv}{du}, \ldots, \frac{d^n v}{du^n}\right) = o \tag{7}$$

Si $n>1$, on abaissera l'ordre d'une unité en prenant pour fonction inconnue $\frac{dv}{du}$.

Si $n=1$, on obtiendra l'intégrale de l'équation par une quadrature.

Exemple I. — Soit l'équation

$$F\left(y, \frac{dy}{dx}, \ldots, \frac{d^ny}{dx^n}\right) = o$$

où la variable indépendante ne figure pas.

Cette équations admet le groupe des translations parallèles à ox

$$\begin{cases} y' = y \\ x' = x + t \end{cases}$$

Nous prendrons donc pour variables canoniques

$$u = y$$
$$v = x$$

Ce changement de variables revient à prendre x pour nouvelle fonction inconnue et y pour variable indépendante. D'après ce qu'on a vu on pourra abaisser l'ordre de l'équation d'une unité.

Exemple II. — Soit une équation différentielle d'ordre n, homogène par rapport à x, y, dx, dy, dy, ..., d^ny. Elle admet le groupe des homothéties, c'est-à-dire ne change pas quand on remplace x par cx, y par cy; par conséquent, elle admet le groupe défini par les formules

$$\begin{cases} \frac{y'}{x'} = \frac{y}{x} \\ \text{Log } x' = \log x + t \end{cases}$$

En posant

$$u = \frac{y}{x}$$
$$v = \log x$$

on sera conduit à une nouvelle équation dont on pourra abaisser l'ordre d'une unité.

Exemple III. — Si une équation différentielle ordinaire d'ordre n ne change pas quand on remplace x par kx, y par k^ny, elle admet le groupe

$$\begin{cases} \frac{y'}{x'^n} = \frac{y}{x^n} \\ \text{Log } x' = \text{Log } x + t \end{cases}$$

On prendra pour nouvelles variables

$$\frac{y}{x^n}$$
$$\text{Log } x = v$$

et on pourra abaisser l'ordre de l'équation d'une unité.

La théorie des groupes à un paramètre a éclairci la théorie des

équations différentielles en montrant à quelles circonstances on devait l'intégration des équations du premier ordre dont on a pu obtenir les solutions, et l'abaissement d'une unité de l'ordre des équations d'ordre supérieur au premier dans les cas classiques. Ces procédés d'intégration qui nous paraissaient des artifices de calculs sans lien entre eux, ne sont au fond que des cas particuliers de la méthode précédente.

M. le Prof. Béraneck communique le résultat de ses recherches sur la *furonculose des truites.*

Séance du 10 mars

Schardt. Glissements de terrain. — Fuhrmann. De la côte colombienne aux Cordillères centrales.

M. le Prof. Schardt expose le résultat de ses recherches sur *les glissements de terrain* qui se sont produits dans la seconde moitié de janvier 1910 *sur le coteau de Bougy, près d'Aubonne (La Côte)*. Le trait caractéristique de la géologie de cette région est la présence d'une falaise molassique, formée de couches presque horizontales, dont le talus inférieur est recouvert de moraine essentiellement argileuse (moraine de fond), qui se développe également sur le large plateau de Perroy (470-440 m.). Sur la molasse, s'étage tout d'abord un massif de poudingue, dit poudingue de la Côte ou alluvion ancienne (fluvioglaciaire); puis, une épaisseur considérable de moraine, surtout argileuse ou argilo-sableuse, qui se développe en large et épaisse couverture sur le plateau de Pizy-Signal de Bougy (environ 700 m.) Il y a donc ici deux plateaux : un inférieur et un supérieur, reliés par un talus, le coteau de Bougy. La molasse n'affleure qu'au-dessous de la falaise de poudingue de l'alluvion ancienne au-dessous de la Côte (620 à 630 m.) Le glissement de terrain s'est produit dans le revêtement morainique et ébouleux (car il y a dans ce terrain d'importants paquets d'argile empruntés à la molasse). Ce glissement est remarquable par la faible largeur de la zone de terrain mise en mouvement et par son étendue considérable dans le sens de la longueur. Il s'est développé, en effet, sur près d'un kilomètre, entre le ravin de la Gaillarde et la Ferme de Bossinaz sur Féchy. En réalité, il y a eu plusieurs glissements successifs qui se trouvent ainsi juxtaposés; puis, on constate, en outre, des glissements locaux indépendants ou consécutifs du grand mouvement suivant l'influence prépondérante de tel ou tel filon d'eau. Le décrochement de terrain le plus important s'est produit entre les fermes de Chez-Callin (où deux

bâtiments s'effondrèrent complètement) et le ravin de la Gaillarde. Il embrasse une surface de 400 m. le long du coteau, sur une largeur de 100 m. environ. Le déplacement de cette masse de terrain de 40.000 mc. n'a pas été considérable. Le mouvement horizontal dans le sens de la pente ne dépasse guère 10 m.; l'affaissement vertical de la partie supérieure est d'environ 5 m. La masse elle-même n'est pas sortie de la niche d'arrachement. La limite inférieure du glissement n'est marquée que par un bourrelet frontal, où s'est produit une intermescence frontale, soit une accumulation de terrain sans recouvrement. C'est à ce stade que le glissement s'est arrêté dès le commencement de février. Néanmoins, la surface du terrain décroché présente dans son intérieur des bouleversements les plus étranges. On y constate jusqu'à 4 zones d'affaissement, délimitées par des failles très nettes, à regard contraire, et que l'on suit parfois sur plus de 200 m. de longueur. Elles ont donné lieu à de véritables fossés, dans lesquels se sont accumulées des flaques d'eau. La cause en est à rechercher dans les inégalités de la surface de glissement. Celle-ci doit suivre le contact entre la molasse et le revêtement morainique et de dilatement. Or, les couches de la molasse sont d'inégale dureté. Il y a des grès assez résistants, des calcaires d'eau douce et des marnes très délitables. Les premiers forment des gradins et celles-ci des couches. La surface de glissement est donc entrecoupée de sauts verticaux. C'est le long de ces sauts, après le déplacement horizontal de revirement, qu'ont dû se produire ces affaissements verticaux, par suite de la formation des vides au-dessous de la surface. La pénétration des eaux souterraines dans ces mêmes cavités, non entièrement remplies par le terrain affaissé, a fait naître ensuite les flaques d'eau.

M. Schardt décrit ensuite les travaux qui ont été faits d'urgence d'abord, puis à titre définitif pour capter et éloigner les eaux souterraines, cause de ces glissements. Elles sortent presque exclusivement de l'alluvion ancienne à la surface de la molasse.

M. le Prof. FUHRMANN raconte ses souvenirs de voyage de la *Côte colombienne aux Cordillères centrales.*

Séance du 24 mars

Béraneck. Rapports entre insectes et fleurs. — Schardt. Nouvelle orthographe de molasse.

M. le Prof. BÉRANECK parle des *expériences de Plateau sur les rapports entre insectes et fleurs.*

M. le Prof. SCHARDT annonce que, désormais, il n'écrira plus le terme stratigraphique et pétrographique *molasse* qu'avec *un l*, tandis que, dans tous ses écrits antérieurs, il avait adopté, d'après de Lapparent et la plupart des géologues français, l'orthographe *mollasse*. Il justifie l'orthographe molasse par le fait que ce mot emprunté à l'idiome normand ne provient pas, comme le croit Larousse, du terme latin *mollis* (tendre), puisque la molasse est, en effet, un grès tendre ; mais ce mot doit dériver du latin *mola* (la meule) ou molan, moudre, ainsi que l'admet aussi M. Rollier, qui a justifié sa manière de voir dans un article paru dans la *Gazette de Lausanne* (23 juillet 1902), en ajoutant que l'existence de l'orthographe moulasse, en France, devait faire adopter ce dernier plutôt que molasse, puisqu'on dit moulin et non molin. Mais nous arrivons à un dilemme en raisonnant ainsi. Car jamais la molasse proprement dite n'a été utilisée comme pierre de moulin ou comme pierre à aiguiser. Dans les pays où cette formation ou d'autres formations psammitiques fournissent des grès durs propres à cet usage, on ne trouve que le mot « molière », qui se retrouve dans d'innombrables noms de lieux. Le mot molasse est d'origine vaudoise, le pays du grès tendre, impropre à servir de meulière. Alors ? La solution qui semble s'imposer, selon M. Schardt, est que molasse signifie en réalité un *mauvais grès*, impropre à fournir des meulières, ce qui s'explique par le suffixe asse, qui a un sens péjoratif, comme un mauvais vin se dit vinasse, du fil entortillé filasse, des papiers en désordre des paperasses, et, dans toute la Suisse romande, du mauvais tuf tovasse ou tuffasse, les mauvaises pierres du découvert d'une carrière, caillasse, etc., etc. Si le raisonnement qui relie le mot molasse à mola, molière (meulière), n'est pas exact dans le sens même du mot, il n'est pas moins vrai qu'il faut écrire molasse, car c'est une forme péjorative de molière.

Séance du 21 avril

Paul Godet. Etude des Unio suisses. — E. Mayor. Cordillères colombiennes.

M. le Prof. Paul GODET présente une contribution à l'*étude des Unio suisses*. L'espèce qui habite le lac de Neuchâtel et qui présente 13 formes différentes, a donné longtemps lieu à d'étonnantes confusions, parce qu'on la croyait originaire de l'Allemagne du Nord. Aujourd'hui, on sait que sa patrie est l'Europe orientale, d'où elle nous est venue par voie danubienne, alors que le Rhin suisse n'était qu'un affluent du grand fleuve.

M. le Dr E. MAYOR relate des souvenirs de voyage dans les *Cordillères colombiennes centrales*. Il insiste tout particulièrement sur la culture du café et de la canne à sucre dans cette région.

BULLETIN SCIENTIFIQUE

CHIMIE

Analyse des travaux de chimie faits en Suisse

JEAN PICCARD. — DAS COLORIMETRISCHE VERDÜNNUNGSGESETZ UND SEINE ANWENDUNG AUF TRIPHENYLMETHYL. DIE EINFACHSTEN CHINOÏDEN FARBSTOFFE. — Besonderer Abdruck aus Justus Liebig's *Annalen der Chemie,* t. 381, p. 347-366. (*Chemisches Laboratorium der kgl. Akademie der Wissenschaften zu München*).

L'attention de l'auteur, qui vient de faire des recherches intéressantes sur les meri-quinonimines, a été attirée sur la loi de Beer et sur son utilisation dans certains cas. Son application permet, en effet, de constater par l'observation colorimétrique, poursuivie pendant la dilution, d'une solution renfermant deux modifications de matières colorantes en état d'équilibre, si l'on a affaire à des composés isomères ou polymères. L'auteur a utilisé cette méthode, non seulement pour l'examen des colorants qu'il a étudiés, mais encore pour celui du triphénylméthyle; il montre, pour ce dernier, que les deux modifications signalées en solution par Schmidlin sont polymères et non isomères.

L'étude des colorants quinoniques les plus simples, ainsi qu'une partie des faits consignés dans ce mémoire, ont déjà fait l'objet d'une communication présentée par l'auteur à la Société suisse de chimie pendant la dernière session à Bâle de la Société helvétique (voir *Archives*, t. 30, p. 422); on en trouve dans sa nouvelle publication la suite, ainsi que le détail des expériences faites à ce sujet.

R. NIETZKI ET KESSELRING. SUR L'ÉTHER DIISOBUTYLIQUE DE TÉTRANITROHYDROQUINONE. *(Ber. d. Deutsch. Chem. Ges.,* t. 43, p. 3459 ; Laboratoire de l'Université. Bâle).

Schubert a décrit autrefois un éther diisobutylique de la tétranitrohydroquinone qui d'après les auteurs doit être rayé de la liste des éthers nitrés de ce produit. Il ne se forme en effet par nitration intense qu'un *dérivé trinitré* f à 96° ; les auteurs n'ont en outre pas pu obtenir de dérivé mononitré mais bien *deux dérivés dinitrés* isomères, l'un f. à 54-55° (ortho ?), l'autre à 120° (para ?).

HYDROGRAPHIE

J. Epper. Tableaux graphiques des observations hydrométriques suisses pour 1909. — *Services hydrographiques fédéraux.* — Berne 1911.

L'apparition de ces *graphiques* est toujours une fête pour l'amateur de belles séries d'observations, exactes et bien coordonnées; il en tire une quantité de renseignements intéressants, dont nous allons signaler quelques-uns.

Sauf du 5 au 10 avril et du 15 au 25 mai, les *graphiques de temperature* montrent des *oscillations journalières* remarquablement faibles, particulièrement de fin juin à fin juillet, où elles devraient être les plus fortes. Le Sæntis est plus uniforme que jamais, et Reckingen même, dans le haut Valais, où l'*amplitude journalière* est toujours grande, est extraordinairement uniforme cette année-là.

L'explication se trouve dans les *graphiques pluviométriques*. Quelle année diluvienne ! Les mois normalement beaux de juin et juillet y montrent 40 jours de pluie sur 60 ; avec des séries ininterrompues de 6 jours + 11 jours + 8 jours + 4 jours ; et des *sommes journalières* exceptionnelles. Par exemple : au Sæntis, une fois 88 mm. en un jour ; et dans les six jours du 5 au 10 juillet : 30 + 52 + 82 + 69 + 36 + 41 millimètres, soit 31 centimètres ; Genève a neuf fois 20 mm. et plus et deux fois 32 mm., ce qui est rare ; au Tessin, Cevio reçoit en diverses journées 93, 125, 76, 101, 90, 78 millimètres, et Borgnone, le 28 et le 29 octobre, 141 + 89 millimètres. On comprend que l'insolation et le rayonnement aient été atténués, sauf pendant les douze journées sèches du commencement d'avril et du commencement de mai.

Ces conditions climatiques se traduisent dans les *graphiques limnimétriques* par la longueur de la période des hautes eaux et par l'atténuation du régime glaciaire.

Le Rhône supérieur n'a presque plus le caractère glaciaire : la *crue glaciaire estivale* est réduite à 1 m., et les *oscillations glaciaires journalières* à 20 ou 30 centimètres. Soit le Rhône, soit ses grands affluents glaciaires présentent bien quelques minima quand il pleut, comme dans les étés normaux, mais leurs grands maxima, au lieu de coïncider avec les maxima thermiques, coïncident avec des maxima pluviaux (p. ex. 17 et 22 VIII et 10 IX). Cette anomalie est frappante quand on se reporte aux graphiques si caractéristiques de 1894 (reproduits dans le Manuel de Géographie physique Chaix-Rosier, p. 36).

Dans cette année pluvieuse de 1909 les rivières tessinoises sont relativement raisonnables ; elles montent haut, mais descendent moins brusquement ou moins bas qu'à l'ordinaire (la Maggia fait pourtant une fois 4 m. en 2 jours).

Toutes nos rivières sont de plus en plus *artificielles*. Comme l'homme, elles se mettent à prendre périodiquement du repos, chaque jour quelques heures, l'une de jour, l'autre de nuit ; et pour quelques-unes, le graphique montre l'emploi changeant de l'électricité dans les dimanches de pluie et ceux de beau temps[1].

A Laufenburg, le Rhin présente un exemple remarquable de *rivière à écoulement gêné* : en amont du défilé la crue est rapide et la décrue lente. Le graphique représente des dents de scie toutes droites d'un côté (de 2 m. 90, 3 m. 50 et plus, jusqu'à 11 m. le 12 VII).

Nos *lacs* sont tous influencés plus que de juste par la pluie : leur minimum est relativement tardif, entre le 8 et le 20 mars ; quant à leur maximum, il varie, mais tous l'ont par la pluie, entre le 11 et le 15 juillet en général. A Genève, le lac ne se décide pas à baisser jusqu'en octobre, même jusqu'au 22 décembre ; et son maximum absolu est en octobre, son régime glaciaire étant complètement effacé.

Le *lac des Brenets* a généralement une grande baisse estivale, allant jusqu'à 20 m. ; en 1909 il ne subit que des dénivellations de 4 à 5 m., mais plusieurs, et son graphique, comme pour le Rhin à Laufenburg, est celui d'une rivière à écoulement gêné.

Les services hydrographiques nous donnent deux nouvelles planches :

La Pl. 41 *a* est relative aux lacs de Klœntal et de Mærjelen. Ce dernier a eu son maximum en septembre, avec une belle montée de 8 m. en 48 heures (22-24 IX) et une dénivellation de 23 m. en 26 jours.

Une Planche séparée contient, en un graphique complexe, l'*étendue,* le *volume*, l'*altitude* et la *profondeur* de nos principaux lacs. Cette Planche permet de voir d'un coup d'œil qu'ils sont tous situés à *3 niveaux principaux* ; les 6 grands entre 65 et 271 m., 34 entre 372 et 600 m., les autres sensiblement plus haut.

La comparaison des *surfaces* et des *volumes* permet de préjuger en gros les pentes sous-lacustres : le lac Majeur et ceux de Como, Lugano et Brienz sont remarquables pour leur volume ; ceux de Constance, Neuchâtel et Zurich au contraire ; ceux de Genève, Walenstadt, Oeschinen, Davos sont intermédiaires.

Voilà quelques parcelles des renseignements scientifiques qu'on peut tirer de ces *graphiques* ; les techniciens en tireront encore plus de renseignements pratiques précieux. Emile Chaix.

[1] Pour les lecteurs étrangers (et même pour nous) il serait désirable que les services hydrographiques ajoutassent quelque signe conventionnel au nom des stations où le régime de la rivière est encore *tout à fait naturel* ou *très peu modifié.*

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES A

L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

PENDANT LE MOIS

DE JUIN 1911

Le 1, orage au S. à 7 h. 45 du soir ; pluie depuis 8 h. 30.
2, pluie dans la nuit ; plusieurs petites averses dans la journée ; orage au SSW à midi 20 ; orage sur la ville à 4 h. 40.
3, brouillard à 7 h. du matin ; orage à 3 h. 30 à l'W. et à 4 h. 30 au S. et SE. ; pluie dans l'après-midi.
les 5, 6, 7 et 9, rosée le matin.
le 9, orages à 11 h. 40 au NW., de 2 à 4 h. au NW. et au NNE. et à 7 h. du soir au N., à l'E. et au S. ; pluie l'après-midi.
le 10, pluie dans la nuit, à 7 h. 20 et à 10 h. du matin, à 1 h. et à 4 h. et de 7 h. 30 à 8 h. 30 du soir.
12, rosée le matin.
13, pluie pendant la plus grande partie de la journée.
14, pluie de 9 h. à 10 h. 15 du matin.
les 15, 16 et 17, rosée le matin.
le 18, pluie de 5 h. 50 à 6 h. 40.
19, pluie dans la nuit, à midi 50, à 4 h. et à 5 h. 30 ; orages au SW. et au S. à 1 h. 50.
20, pluie de 3 h. 25 à 4 h. 10 et de 7 h. 40 à 8 h. du soir.
les 22 et 23, rosée le matin.
le 24, pluie dans la nuit ; plusieurs averses dans l'après-midi.
25, pluie dans la nuit et jusqu'à 5 h. du soir.
les 28, 29 et 30, rosée le matin.

GENÈVE — JUIN 1911

Jour du mois	Pression atmosphérique 700mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Barographe Max	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Vit. moy. kil. h.	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moy. 6 obs.	Durée d'insolation	Pluie Hauteur 24 h.	Nombre d'heures
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.										h.	mm.	
1	25.6	25.8	28.3	26.02	− 0.27	24.3	28.5	N. 1	N. 1	WNW. 1	N 1	3.1	9	5	10	8	7.4	0.6	2
2	29.7	29.5	29.9	29.36	+ 3.03	28.5	30.0	NW. 1	N. 1	N. 1	N. 1	4.8	10	8	8	8	4.5	4.8	4
3	29.7	27.5	28.5	28.72	+ 1.34	26.8	29.9	W. 0	N. 1	NE. 1	N. 1	4.6	10	3	6	7	7.3	5.5	5
4	29.9	30.9	30.7	29.87	+ 3.45	29.0	31.1	WNW. 0	N. 1	N. 1	N. 1	5.0	2	7	1	3	13.6	...	....
5	32.6	31.5	31.4	31.62	+ 5.16	30.7	32.7	N. 1	N. 1	NNW. 1	N. 1	5.6	1	7	4	4	12.5	...	....
6	31.8	30.5	30.9	30.99	+ 4.49	29.9	31.8	NNE. 1	NNE. 2	NNE. 1	NNE. 2	**17.0**	3	1	0	1	14.1	...	....
7	33.7	32.9	32.3	32.70	+ 6.16	31.7	33.8	NNW. 1	N. 1	N. 0	N. 1	4.6	1	1	0	1	14.3	...	....
8	31.9	29.8	27.4	30.04	+ 3.46	27.1	32.4	NNW. 1	N. 1	SE. 1	N 1	4.2	0	1	4	2	14.5	...	....
9	24.8	21.6	21.8	23.21	− 3.41	20.2	27.1	E. 0	N. 1	NNE. 1	N. 1	6.3	0	7	10	6	7.6	2.1	3
10	20.0	20.0	21.7	20.55	− 6.11	19.9	22.4	N. 1	N. 1	NNE. 2	N. 1	9.6	10	10	10	10	0.0	7.6	8
11	24.3	24.1	24.4	23.82	− 2.88	22.3	24.6	N. 1	NNE. 1	NNE 1	NNE 1	9.8	3	2	3	3	13.7	...	....
12	24.2	23.4	22.4	23.35	− 3.39	22.1	24.3	W. 0	N. 1	N. 1	N. 1	5.0	3	4	9	4	13.4	...	....
13	20.8	19.2	18.2	**19.82**	**− 6.96**	**17.9**	22.6	NNW. 0	NNW. 1	NNW. 1	NNW. 1	4.8	10	10	9	10	0.3	18.6	**14**
14	23.3	25.5	29.3	24.72	− 2.09	19.0	29.6	W. 1	WSW. 1	NW. 1	var.	5.8	4	9	8	8	6.5	2.2	1
15	30.4	30.3	31.6	30.49	+ 3.64	30.0	32.2	W. 0	SW. 1	NNE. 1	NNE. 1	6.5	2	5	1	3	14.1	...	....
16	31.7	31.6	30.5	31.32	+ 4.43	30.3	31.8	NE. 1	N. 1	NW. 0	N. 1	2.9	7	10	7	8	3.4	...	....
17	28.3	26.8	25.4	27.04	+ 0.12	24.4	29.8	NW. 1	SSW. 1	SSW. 1	SSW. 1	6.3	10	8	3	6	7.7	...	....
18	25.1	24.3	27.4	25.58	− 1.38	24.3	27.6	SSW. 1	SSW. 2	NNW. 1	SSW. 1	9.2	6	8	10	8	8.0	2.7	2
19	23.1	24.0	26.8	25.21	− 1.78	23.0	26.8	N. 1	WSW. 1	WNW. 1	var	4.6	9	10	4	8	1.3	4.9	4
20	27.2	28.6	31.3	28.39	+ 1.36	26.0	31.6	SSW. 1	W. 1	ESE. 1	SSW. 1	9.2	2	8	7	5	8.3	0.6	1
21	32.6	32.4	32.1	32.12	+ 5.06	31.7	32.6	ESE. 0	NNE. 1	NNE. 1	NNE. 1	6.9	2	3	1	2	13.7	...	....
22	32.1	30.7	29.8	30.93	+ 3.84	29.4	32.1	W. 0	N. 1	SW. 1	var.	4.7	1	1	2	2	14.7	...	....
23	28.0	25.5	24.2	26.56	− 0.56	23.8	29.4	SW. 1	W. 1	W. 1	var.	4.5	5	8	10	8	7.2	2.8	3
24	23.1	26.3	27.0	24.96	− 2.20	22.3	27.0	SSW. 1	SSW. 1	SSW. 1	SSW. 1	6.1	10	10	10	10	0.4	11.3	8
25	26.7	27.1	28.3	27.04	− 0.15	26.4	28.3	NW. 0	W. 1	WSW. 0	calme	1.5	10	10	9	10	0.0	**19.2**	10
26	29.3	29.0	30.3	29.17	+ 1.95	28.3	30.4	SSW. 0	WSW. 1	SSW. 1	var.	5.2	4	6	2	4	13.4	...	....
27	31.7	32.9	35.7	32.86	+ 5.61	30.8	36.5	SSW. 1	WSW. 1	NE. 1	SSW. 1	11.5	8	7	5	7	10.8	...	....
28	37.4	36.5	36.1	**36.58**	**+ 9.30**	35.6	**37.5**	NNW. 1	N. 2	N. 0	N. 1	6.7	1	1	0	1	14.9	.	....
29	36.1	34.2	31.9	34.40	+ 7.10	31.7	36.5	NNE. 0	N. 1	N. 0	N 1	4.0	0	1	0	0	**15.0**	..	....
30	29.9	27.9	25.8	28.44	+ 1.11	25.8	31.7	NW. 0	SSW. 2	W. 1	SSW. 1	5.1	5	7	10	8	10.0	...	...
Mois	28.49	28.02	28.41	28.20	+ 1.01							6.17	4.9	5.9	5.4	5.5	272.6	82.9	65

GENÈVE — JUIN 1911

Jour du mois	Température							Fraction de Saturation en %							Tempér. du Rhône		Limnimètre
	7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Observ.	Ecart avec la normale	Min.	Max.	7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Min.	Max.	Midi	Ecart avec la normale	
	°	°	°	°	°	°	°								°	°	mm.
1	+15.7	+21.6	+18.3	+17.51	+ 2.17	+13.7	+23.5	89	51	80	77	+ 7	50	90	18.0	+ 4.3	1450
2	16.9	17.0	14.8	16.31	+ 0.85	13.7	20.2	81	93	84	84	+14	60	94	17.8	+ 4.0	1460
3	12.8	20.1	13.1	14.86	− 0.72	10.4	21.9	91	54	97	84	+14	53	99	16.5	+ 2.6	1485
4	14.9	20.1	18.2	16.95	+ 1.25	12.0	22.1	88	60	80	75	+ 5	60	91	...	.....	1505
5	15.9	22.8	18.9	18.55	+ 2.73	11.6	25.4	79	53	76	68	− 2	50	90	17.9	+ 3.7	1530
6	17.4	23.0	19.3	19.34	+ 3.40	14.6	23.5	70	48	60	61	− 9	48	85	18.4	+ 4.1	1535
7	17.1	22.3	20.5	19.39	+ 3.33	12.3	25.7	68	45	65	60	−10	35	84	18.0	+ 3.6	1565
8	17.5	23.9	20.4	19.76	+ **3.59**	13.0	27.0	70	46	71	62	− 8	30	87	18.1	+ 3.6	1570
9	18.7	22.9	15.9	18.21	+ 1.93	13.9	27.7	73	50	86	74	+ 4	50	92	18.0	+ 3.4	1575
10	14.9	14.7	13.0	14.61	− 1.78	12.6	16.5	93	99	90	93	+23	80	99	17.2	+ 2.4	1530
11	13.5	16.8	15.6	14.98	− 1.52	11.3	19.0	66	54	56	61	− 9	46	74	....	.....	1555
12	12.9	19.4	16.5	15.50	− 1.11	8.7	22.8	70	37	69	59	−11	29	85	17.1	+ 2.1	1655
13	14.7	13.9	13.3	13.69	− 3.02	12.4	16.5	77	85	93	86	+16	65	95	16.3	+ 1.2	1625
14	11.7	13.5	13.0	12.55	− 4.27	10.0	17.4	90	58	45	70	0	38	90	16.2	+ 1.0	1635
15	11.9	18.9	13.1	13.10	− 3.82	6.5	20.0	71	29	55	**57**	**−13**	**25**	93	16.1	+ 0.8	1585
16	10.4	15.3	14.0	12.55	− 4.47	**5.7**	18.3	72	48	79	67	− 3	38	94	15.8	+ 0.4	1565
17	14.1	22.7	20.2	18.31	+ 1.20	10.3	27.3	79	48	61	66	− 4	44	94	16.2	+ 0.7	1620
18	19.3	24.7	15.7	19.56	+ 2.35	14.5	25.2	58	34	89	62	− 8	34	94	....	.....	1525
19	15.4	18.3	13.9	15.53	− 1.77	12.7	20.0	92	70	88	86	+16	68	96	12.0	− 3.7	1545
20	15.1	18.3	12.4	14.88	− 2.51	11.8	20.3	56	51	86	67	− 3	43	93	10.2	− 5.6	1575
21	14.0	17.2	15.2	14.78	− 2.70	9.5	20.1	73	45	71	68	− 2	38	94	11.1	− 4.8	1590
22	14.6	19.6	18.2	16.79	− 0.78	9.5	24.9	73	48	65	67	− 3	36	95	14.0	− 2.0	1575
23	16.6	24.8	18.5	18.45	+ 0.80	12.3	25.8	71	44	64	66	− 4	34	94	16.5	+ 0.4	1565
24	15.0	16.3	13.7	15.25	− 2.48	13.0	18.5	87	60	88	81	+11	55	98	13.6	− 2.6	1535
25	12.2	13.0	12.4	**12.53**	− **5.28**	11.7	13.9	99	95	97	96	**+27**	92	100	...	.....	1575
26	13.3	19.8	14.2	15.39	− 2.49	8.7	21.5	85	41	63	66	− 3	39	99	12.2	− 4.2	1595
27	14.3	18.3	13.0	14.65	− 3.31	11.8	20.5	53	43	65	**57**	−12	42	85	10.7	− 5.8	1600
28	11.9	18.3	16.4	14.81	− 3.22	7.5	20.8	70	41	69	64	− 5	33	94	13.9	− 2.7	1585
29	15.0	20.6	19.5	16.93	− 1.16	8.5	24.0	70	51	61	66	− 3	32	94	11.9	− 4.8	1570
30	+17.2	+26.5	+21.8	**+20.65**	+ 2.49	+12.0	**+28.0**	75	35	53	60	− 9	33	94	17.2	+ 0.1	1560
Mois	+14.82	+19.49	+16.10	+16.21	− 0.60	+11.21	+21.98	76	54	74	70	0			15.53	+0.19	1561

MOYENNES DE GENÈVE. — JUIN 1911

Correction pour réduire la pression atmosphérique de Genève à la pesanteur normale : + 0^{mm}.02. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 700^{mm} +

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re déc.	28.73	28.56	28.98	28.76	28.02	27.26	27.70	28.44	28.31
2e »	25.75	25.64	25.83	25.95	25.77	25.87	26.17	26.81	25.97
3e »	30.68	30.44	30.68	30.63	30.26	29.79	29.80	30.17	30.31
Mois	28.39	28.21	28.49	28.45	28.02	27.64	27.89	28.47	28.20

Température.

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
	°	°	°	°	°	°	°	°	°
1re déc.	+14.76	+13.42	+16.18	+18.62	+20.84	+21.01	+19.06	+16.51	+17.55
2e »	12.31	10.96	13.87	16.63	18.18	18.07	16.60	13.90	15.06
3e »	12.26	10.98	14.41	17.34	19.44	19.97	18.36	15.41	16.02
Mois	+13.11	+11.79	+14.82	+17.53	+19.49	+19.68	+18.01	+15.27	+16.21

Fraction de saturation en %.

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
1re décade	84	88	80	67	60	60	69	81	74
2e »	84	87	73	58	51	54	62	75	68
3e »	91	92	76	61	50	50	59	75	69
Mois	87	89	76	62	54	55	63	77	70

Dans ce mois l'air a été calme 133 fois sur 1000.

Le rapport des vents $\frac{NNE}{SSW} = \frac{88}{44} = 2.00$

Moyennes des 3 observations (7h, 1h, 9h)

	mm
Pression atmosphérique........	28.31
Nébulosité..................	5.4
Température $\frac{7+1+9}{3}$ ..	+16°.80
Température $\frac{7+1+2\times9}{4}$ ..	+16°.63
Fraction de saturation........	68 %

Valeurs normales du mois pour les éléments météorologiques, d'après Plantamour :

	mm
Press. atmosphér.. (1836-1875).	27.19
Nébulosité........ (1847-1875).	5.4
Hauteur de pluie.. (1826-1875).	76^{mm}.0
Nombre de jours de pluie. (id.).	11
Température moyenne ... (id.).	+16°.81
Fraction de saturat. (1849-1875).	70%

Observations météorologiques faites dans le canton de Genève

Résultats des observations pluviométriques

Station	CÉLIGNY	COLLEX	CHAMBÉSY	CHATELAINE	SATIGNY	ATHENAZ	COMPESIÈRES
Hauteur d'eau en mm.	124.6	96.3	89.1	79.7	97.1	73.4	90.1

Station	VEYRIER	OBSERVATOIRE	COLOGNY	PUPLINGE	JUSSY	HERMANCE
Hauteur d'eau en mm.	93.1	82.9	81.4	111.3	124.4	123.8

Insolation à Jussy : 219 h. 1.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AU

GRAND SAINT-BERNARD

PENDANT LE MOIS DE

JUIN 1911

Les 1, 2, 3, 6, 10 et 11, pluie.
13 et 14, neige.
15, 19, 20, 21, 24, 25, 26 et 28, pluie.
2, 3, 13, 17, 18, 19, 23, 24, 25 et 30, très fort vent.
11, 14, 15, 20, 21, 22, 27 et 28, très forte bise.

GRAND SAINT-BERNARD — JUIN 1911

Jour du mois	Pression atmosphérique 500mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Écart av. la norm.	Barographe Min.	Max	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Pluie Hauteur (24 h.)	Neige Hauteur (24 h.)
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.									mm.	cm.
1	66.0	66.8	66.3	66.4	+ 0.8	65.9	66.7	SW. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	10	10	10	10	4.2	....
2	70.0	70.3	70.3	70.2	+ 4.4	66.8	70.4	SW. 1	SW. 1	SW. 3	SW. 2	10	5	10	8	12.1	....
3	69.7	69.4	68.9	69.3	+ 3.4	68.9	70.1	SW. 1	SW. 3	SW. 2	SW. 2	10	10	10	10	18.7	....
4	69.0	70.3	71.5	70.3	+ 4.4	68.9	72.1	NE. 1	NE. 2	NE. 1	NE. 1	4	4	1	3	....	....
5	72.5	73.0	72.8	72.8	+ 6.8	72.3	73.0	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	0	6	5	4	....	....
6	71.7	72.8	73.4	72.6	+ 6.5	71.7	73.6	SW. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	10	6	0	5	2.9	....
7	73.8	71.7	74.5	71.3	+ **8.1**	73.7	74.7	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	0	1	0	0	..	.. .
8	72.8	72.0	70.4	71.7	+ 5.4	70.2	74.0	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	0	2	3	2	....	....
9	67.6	66.1	64.2	66.0	− 0.3	63.8	70.2	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	3	4	10	6	10.2	....
10	61.9	61.1	61.6	61.6	− 4.8	61.4	63.8	SW. 1	NE. 1	NE. 2	NE. 1	10	10	10	10	1.3	....
11	62.6	63.6	64.1	63.5	− 3.0	62.0	64.4	NE. 3	NE. 2	NE. 2	NE. 2	10	4	10	8	....	....
12	63.4	63.6	63.7	63.6	− 3.0	63.3	64.1	NE. 2	NE. 2	SW. 1	NE. 2	7	5	0	4	....	....
13	62.2	60.6	59.2	**60.7**	− **6.0**	**59.2**	63.4	SW. 3	SW. 3	SW. 2	SW. 3	10	10	10	10	**37.8**	3
14	60.8	62.6	64.7	62.7	− 4.0	60.7	65.0	NE. 5	NE. 2	NE. 4	NE. 4	10	10	10	10	9.7	**4**
15	65.6	67.2	68.9	67.2	+ 0.4	65.2	69.2	NE. 3	NE. 2	NE. 2	NE. 2	10	7	3	7	....	....
16	69.8	71.2	71.7	70.9	+ 4.0	69.6	71.8	NE. 2	SW. 1	NE. 1	NE. 1	10	10	6	9	....	....
17	71.0	70.7	70.0	70.6	+ 3.6	69.6	71.4	SW. 3	NE. 1	NE. 1	NE. 1	8	5	3	5	....	....
18	69.2	69.1	69.0	69.1	+ 2.1	68.4	69.6	NE. 3	SW. 3	SW. 3	SW. 2	10	10	10	10	3.5	....
19	67.4	67.0	67.1	67.2	+ 0.1	66.8	68.4	SW. 2	SW. 3	SW. 1	SW 2	10	10	5	8	13.1	....
20	65.7	66.7	68.5	67.0	− 0.2	65.6	69.0	SW. 2	NE. 4	NE. 4	NE. 3	6	10	9	8	2.9	....
21	69.2	70.2	70.9	70.1	+ 2.9	69.1	71.0	NE. 3	NE. 1	NE. 1	NE. 2	6	0	0	2	.. .	....
22	70.9	71.4	71.1	71.1	+ 3.8	70.9	71.5	SW. 3	NE. 2	NE. 3	NE. 2	6	6	0	4	....	....
23	70.1	68.9	67.7	68.9	+ 1.5	67.0	70.8	SW. 3	SW. 3	SW. 5	SW. 4	10	9	10	10	11.4	.. .
24	65.7	66.6	67.5	66.6	− 0.8	65.6	67.5	SW. 4	SW. 4	SW. 4	SW. 4	10	10	10	10	37.0	...
25	66.8	67.0	66.9	66.9	− 0.6	66.7	67.1	SW. 5	SW. 5	SW. 3	SW. 4	10	10	10	10	18.0	....
26	66.9	67.7	68.8	67.8	+ 0.2	66.9	68.9	NE. 2	NE. 1	NE. 1	NE. 1	10	8	0	6	.. .	....
27	68.5	69.5	70.5	69.5	+ 1.9	68.5	71.0	NE. 2	NE. 1	NE. 3	NE. 2	10	8	10	9	1.8	. ..
28	72.4	74.0	75.1	73.8	+ 6.1	71.8	75.1	NE. 4	NE. 2	NE. 1	NE. 2	0	0	0	0	....	....
29	74.9	75.2	74.1	**74.7**	+ 7.0	73.8	**75.2**	NE. 1	NE. 2	NE. 1	NE. 1	0	0	0	0	....	....
30	71.7	71.1	70.4	71.1	+ 3.3	70.0	73.4	SW. 1	SW. 1	SW. 3	SW. 2	6	8	10	8	...	....
Mois	68.33	68.69	68.80	68.61	+ 1.50							7.2	6.6	5.8	6.5	184.6	7

GRAND SAINT-BERNARD — JUIN 1911

Jour du mois	Température 7 heures	1 heure	9 heures	Moyenne 3 Observ.	Ecart avec la normale	Minimum	Maximum	Fraction de saturation en % 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Min.	Max.
	°	°	°	°	°	°	°						
1	+ 2.9	+ 5.2	+ 3.2	+ 3.8	+ 1.1	+ 2.7	+ 6.2	96	80	85	87	75	96
2	3.0	7.2	2.8	4.3	+ 1.5	2.6	8.1	89	69	97	85	62	98
3	2.0	2.1	1.6	1.9	− 1.0	1.6	5.3	96	90	93	93	69	97
4	2.0	9.4	3.8	5.1	+ 2.1	1.1	10.0	73	51	87	70	50	93
5	4.0	11.8	4.2	6.7	+ 3.6	2.5	11.9	69	49	91	70	49	92
6	3.2	6.8	5.2	5.1	+ 1.9	3.2	9.7	79	71	80	77	60	94
7	4.0	12.1	7.0	7.7	+ 4.4	3.4	14.4	77	44	73	65	41	92
8	5.0	12.2	6.4	7.9	+ **4.5**	4.6	14.2	79	41	84	68	36	93
9	5.8	10.4	3.1	6.4	+ 2.9	3.0	12.2	74	45	85	68	42	96
10	3.8	5.3	1.8	3.6	0.0	1.8	7.0	82	78	97	86	66	98
11	0.4	4.8	0.9	2.0	− 1.7	+ 0.4	5.2	97	57	96	83	56	97
12	0.9	6.4	2.4	3.2	− 0.6	0.0	7.0	95	59	74	76	59	96
13	+ 0.6	0.9	+ 0.1	+ 0.5	− 3.4	0.0	2.9	96	98	100	98	94	100
14	− 1.8	+ 0.8	− 5.2	− 2.1	− 6.1	− 5.3	1.7	100	82	95	92	80	100
15	− 5.0	0.0	− 3.2	− **2.7**	− **6.9**	− **7.0**	1.8	95	57	89	80	45	96
16	+ 2.9	+ 5.0	+ 4.8	+ 4.2	0.0	− 3.0	7.9	28	34	70	44	27	85
17	6.1	13.4	5.8	**8.4**	+ 4.1	+ 4.9	**14.5**	65	47	84	65	43	91
18	3.6	6.0	5.2	4.9	+ 0.5	3.5	6.3	95	93	94	94	67	96
19	4.2	4.6	+ 3.6	4.1	− 0.4	+ 3.8	6.7	95	96	90	94	80	98
20	+ 3.0	0.2	− 1.2	0.7	− 3.9	− 1.2	3.9	73	94	89	85	56	96
21	− 1.5	4.6	+ 2.8	2.0	− 2.7	− 2.0	6.2	88	57	75	73	56	93
22	+ 2.1	6.0	2.6	3.6	− 1.1	+ 2.1	10.3	82	61	83	76	44	92
23	2.8	5.0	3.1	3.6	− 1.2	2.8	5.2	88	85	100	91	84	100
24	3.0	2.6	2.2	2.6	− 2.3	2.0	3.4	100	100	100	100	96	100
25	+ 1.3	1.0	0.8	1.0	− 4.0	+ 0.8	2.7	82	99	100	94	81	100
26	− 0.2	4.8	+ 0.8	1.8	− 3.2	− 0.2	5.2	98	70	91	86	68	100
27	− 0.2	2.9	− 0.6	0.7	− 4.4	− 1.0	3.2	85	79	95	86	74	98
28	− 2.4	6.0	+ 4.6	2.7	− 2.5	− 3.6	6.4	93	45	63	67	43	96
29	+ 5.8	9.9	6.8	7.5	+ 2.2	+ 3.8	10.8	41	37	52	**43**	35	58
30	+ 7.0	+10.8	+ 4.8	+ 7.5	+ 2.2	+ 4.8	+12.2	42	41	83	55	**24**	89
Mois	+ 2.28	+ 5.94	+ 2.67	+ 3.63	− 0.46	+ 1.07	+ 7.41	82	67	86	78		

MOYENNES DU GRAND SAINT-BERNARD. — JUIN 1911

Correction pour réduire la pression atmosphérique du Grand Saint-Bernard à la pesanteur normale : — $0^{mm}.22$. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 500^{mm} + | **Fraction de saturation en %**

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
	mm	mm	mm	mm				
1re décade	69.50	69.68	69.39	69.52	81	62	87	77
2e »	65.77	66.23	66.72	66.24	84	72	88	81
3e »	69.71	70.46	70.30	70.05	80	68	84	77
Mois	68.33	68.69	68.80	68.61	82	67	86	78

Température.

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne. $\frac{7+1+9}{3}$	Moyenne. $\frac{7+1+2\times 9}{4}$
	°	°	°	°	°
1re décade	+ 3.57	+ 8.25	+ 3.91	+ 5.24	+ 4.91
2e »	1.49	4.21	1.32	2.34	2.09
3e »	1.77	5.36	2.79	3.31	3.18
Mois	+ 2.28	+ 5.94	+ 2.67	+ 3.63	+ 3.39

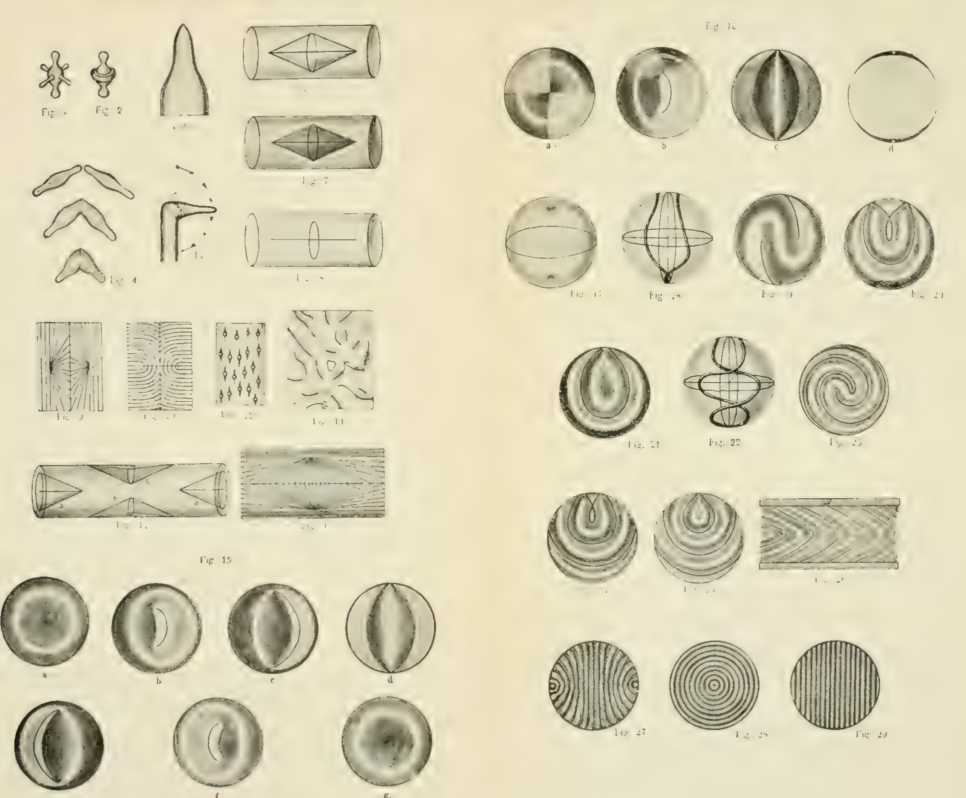
Dans ce mois l'air a été calme 0 fois sur 1000.

Le rapport des vents $\frac{\text{NE}}{\text{SW}} = \frac{96}{88} = 1.09$

Pluie et neige dans le Val d'Entremont.

Station	Martigny-Ville	Orsières	Bourg-St-Pierre	St-Bernard
Eau en millimètres.....	58.3	38.8	69.0	184.6
Neige en centimètres....	—	—	—	7

LA STRUCTURE DES GRANDS CRISTAUX LIQUIDES ET LEURS ÉTATS D'ÉQUILIBRE MOLÉCULAIRE



ORAGES MAGNÉTIQUES

ET

AURORES POLAIRES

PAR

Kr. BIRKELAND

(Avec les planches II, III, IV)

—

J'ai l'honneur de présenter ici[1] quelques-uns des résultats que m'ont permis d'acquérir, au cours de ces dernières années, mes études sur les orages magnétiques et les aurores polaires. Ces résultats ont déjà été en partie publiés en 1908 dans le premier volume de mon ouvrage, *The Norwegian Aurora Polaris Expedition, 1902-1903*, ou vont l'être dans un nouveau volume du même ouvrage.

Par l'étude d'un grand nombre d'orages magnétiques dans vingt-cinq stations en 1902-1903, et dans quinze stations en 1882-1883, j'ai cherché à acquérir une connaissance générale des orages magnétiques, et je les ai classés d'après la façon dont ils se produisent et dont ils se déroulent. Les fig. 1 et 2 pourront servir à se faire une idée des matériaux originaux. La première de ces figures contient des magnétogrammes provenant du premier groupe de vingt-cinq observatoires ; la seconde montre aussi des courbes magnétiques provenant du second groupe de quinze stations, polaires pour la plupart. Ces courbes, marquées H ou D et V, indiquent les variations des trois composantes de la force magnétique.

J'ai trouvé que l'on peut distinguer quatre types principaux de ces orages magnétiques : orages équatoriaux négatifs et positifs, orages polaires négatifs et positifs.

Afin de pouvoir donner sur les cartes un clair exposé géomé-

[1] Ce mémoire a fait l'objet d'une communication au Congrès de radiologie de Bruxelles en 1910, dont les Comptes rendus paraîtront prochainement.

trique de la répartition de la force sur la terre, au cours de ces différents orages magnétiques, j'ai, pour chaque endroit et à des époques déterminées, placé une « flèche de courant ». C'est un vecteur purement géométrique, dont la grandeur est proportionnelle à la force perturbatrice horizontale, et dont la direction est la même que celle que devrait avoir un courant électrique horizontal *au-dessus* de l'endroit en question, pour provoquer la force perturbatrice qui y est mesurée.

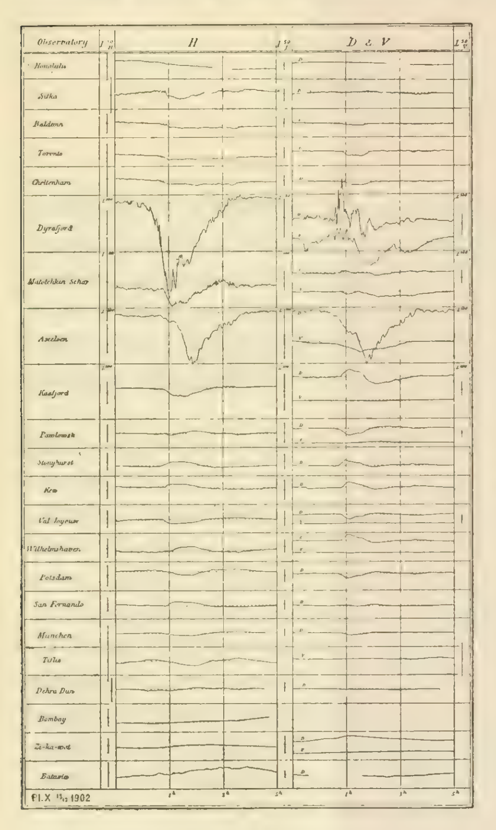


Fig. 1

Les projections suivantes serviront de données d'orientation sur ces différents orages magnétiques, les signes caractéristiques essentiels de ceux-ci sautant immédiatement aux yeux. Pour éviter une perte de temps, il convient de renvoyer, pour leurs caractéristiques détaillées, à l'ouvrage cité ci-dessus.

La fig. 3 montre la répartition de la force au cours d'un orage équatorial négatif. Les flèches de courant sont tournées vers l'ouest et la force se dirige vers le sud.

La figure 4 montre la répartition de la force au cours d'un orage équatorial positif. Les flèches de courant, à l'équateur, sont ici les plus grandes et sont tournées vers l'est. Par conséquent, la force se dirige vers le nord et est positive.

Les fig. 5 et 6 montrent la répartition de la force au cours d'un orage polaire négatif. Les flèches de courant, auprès de la ceinture d'aurore boréale, sont alors généralement orientées vers l'ouest, le long de la ceinture, et la force se dirige ainsi à peu près vers le sud. Les chiffres placés près de quelques-unes

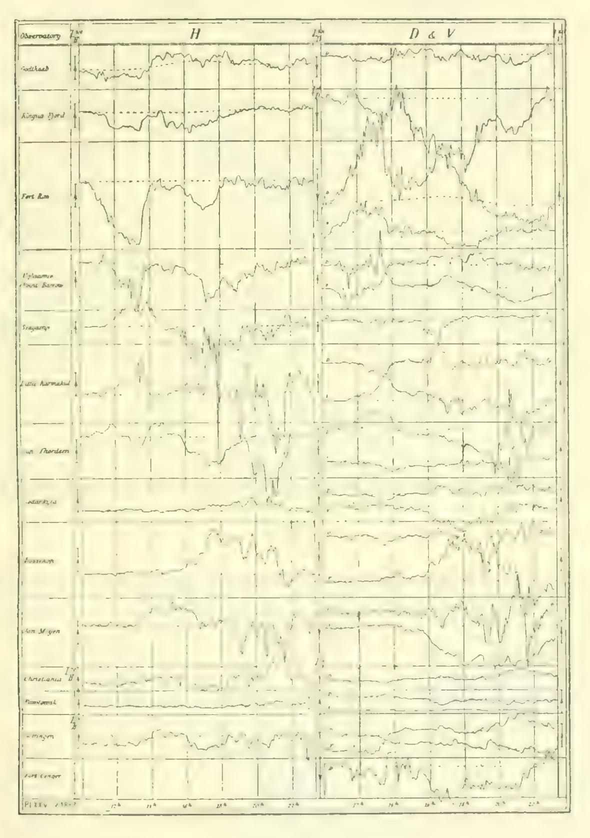


Fig. 2

des flèches de courant représentent le facteur par lequel doit être multipliée l'échelle de la flèche.

On voit la force relativement énorme avec laquelle se produit la perturbation, d'abord au Dyrafjord et ensuite à Axelöen. Nous avons fait et reproduit en tout 163 de ces exposés graphiques de la répartition de la force au cours d'orages magnétiques, pendant la période 1902-1903.

Comme suite aux études publiées dans le premier volume de mon ouvrage déjà cité, les fig. 7 et 8 nous montrent l'évaluation du champ de force magnétique d'un courant électrique, qu'on suppose se diriger vers la terre perpendiculairement et en ligne

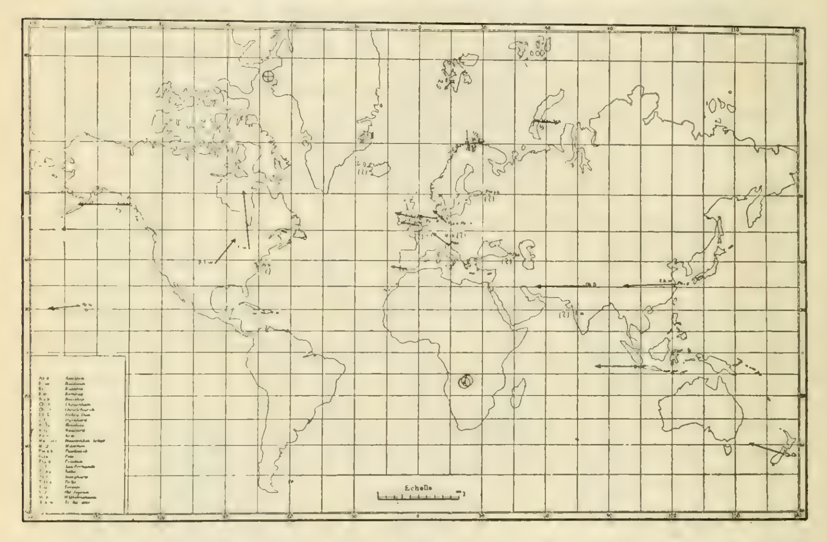


Fig. 3

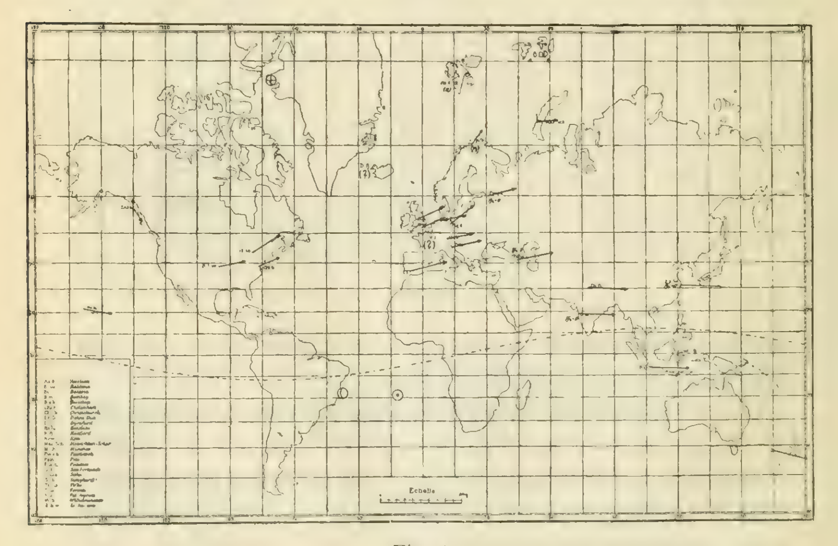


Fig. 4

droite auprès de la ceinture d'aurore, et qui, après, suit la terre à une hauteur de 400 kilomètres en un arc de 75°, parallèle à la ceinture, pour s'en éloigner enfin radialement. La fig. 7 indique schématiquement la marche du courant et la fig. 8

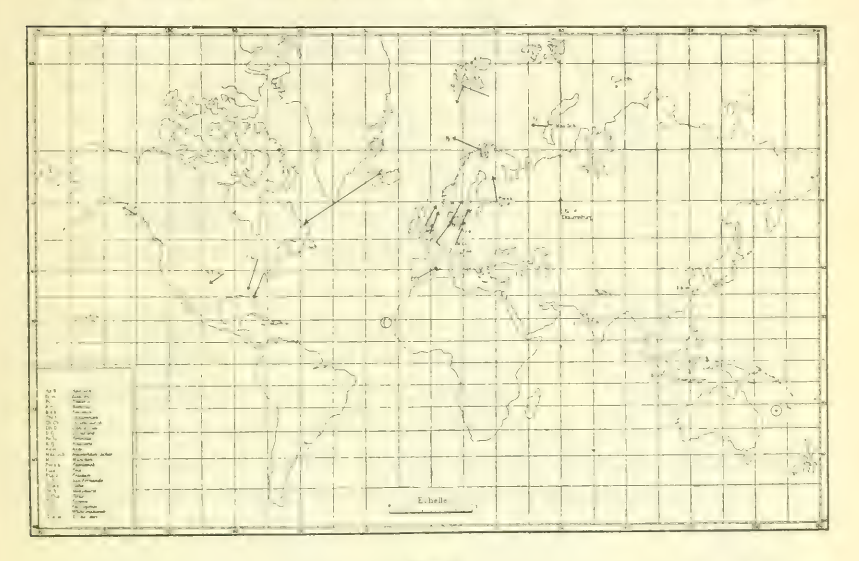


Fig. 5

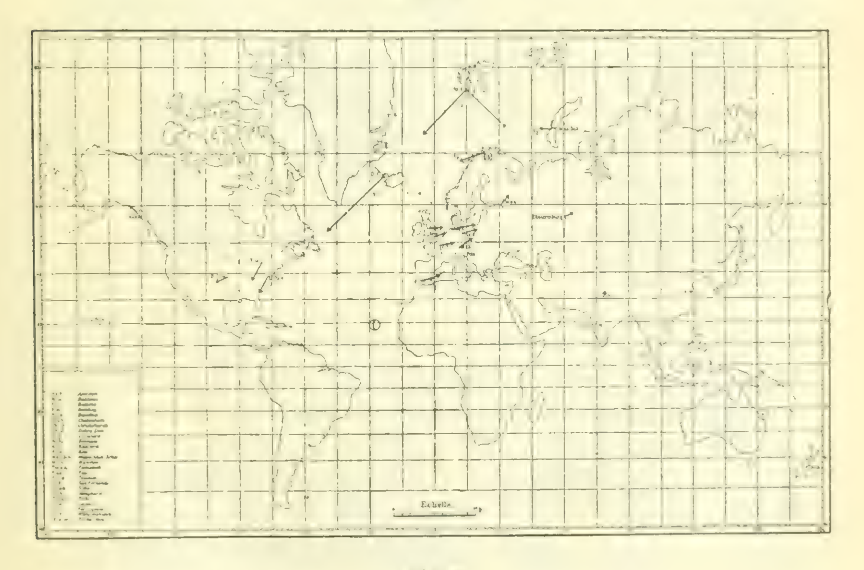


Fig. 6

montre les lignes équipotentielles et les lignes de force sur la surface de la terre.

Tandis que la fig. 9*b* montre la répartition des forces magnétiques observées pour le même orage que dans les fig. 5 et 6, mais un peu avant, à 1 heure, la fig. 9*a* montre la répartition des forces magnétiques, telles qu'on les a calculées comme produites par le courant précité, en admettant que le centre d'orages soit situé au-dessus de Dyrafjord.

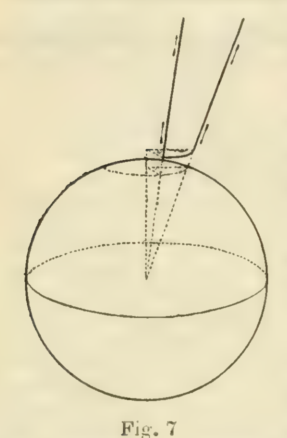


Fig. 7

On voit que les forces *calculées* concordent assez exactement avec les forces observées.

Les fig. 10 et 11 montrent la répartition de la force autour des régions polaires pendant un orage magnétique en 1883. J'ai décrit dans mon ouvrage les phases de soixante-huit époques d'orages magnétiques, d'après les matériaux réunis au cours des études polaires internationales en 1882-1883, et les deux cartes choisies montrent précisément une répartition de force typique pendant la généralité des orages polaires.

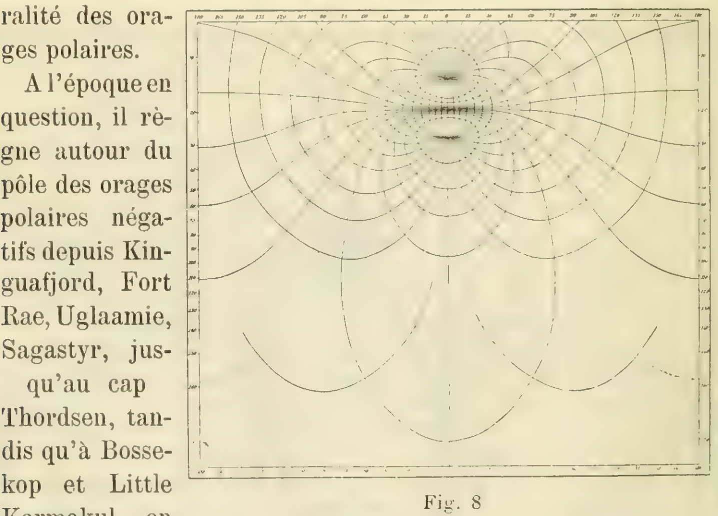


Fig. 8

A l'époque en question, il règne autour du pôle des orages polaires négatifs depuis Kinguafjord, Fort Rae, Uglaamie, Sagastyr, jusqu'au cap Thordsen, tandis qu'à Bossekop et Little Karmakul on trouve de violents orages magnétiques *positifs*. En effet, les

flèches de courant, à ces deux derniers endroits, sont dirigées vers l'est, le long de la ceinture boréale, de telle sorte que la force est positive et orientée vers le nord. A mesure que le temps s'écoule, le système de flèches tourne avec le soleil.

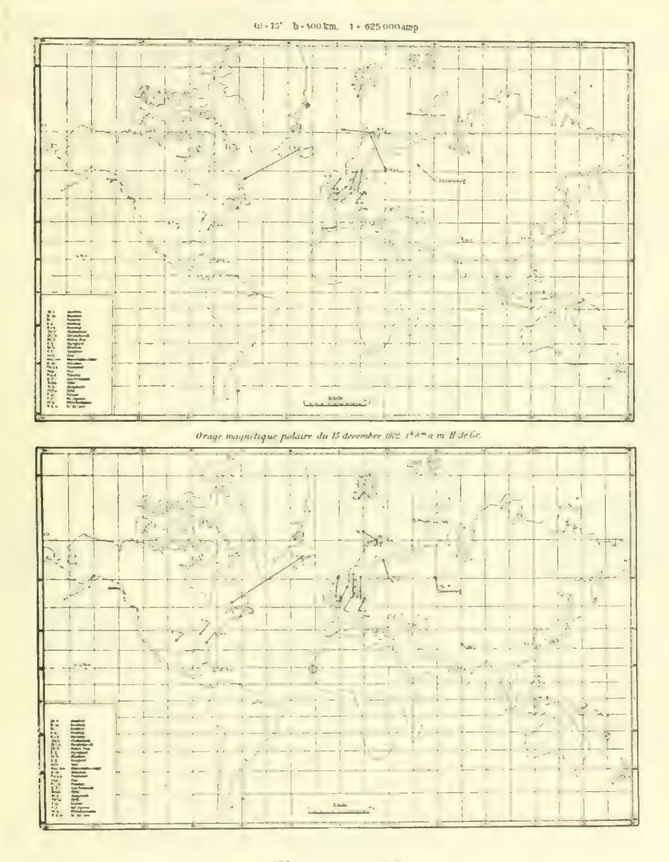


Fig. 9*a* et 9*b*

L'orage polaire négatif règne surtout en général du côté de la nuit de la terre, tandis que l'orage polaire positif se fait sentir du côté de l'après-midi. La position du soleil est indiquée sur le côté des figures, correspondant aux différentes époques. On remarquera que sur la fig. 11, à la dernière époque, l'orage à Little Karmakul est déjà passé du positif au négatif, l'endroit se trouvant maintenant du côté de la nuit.

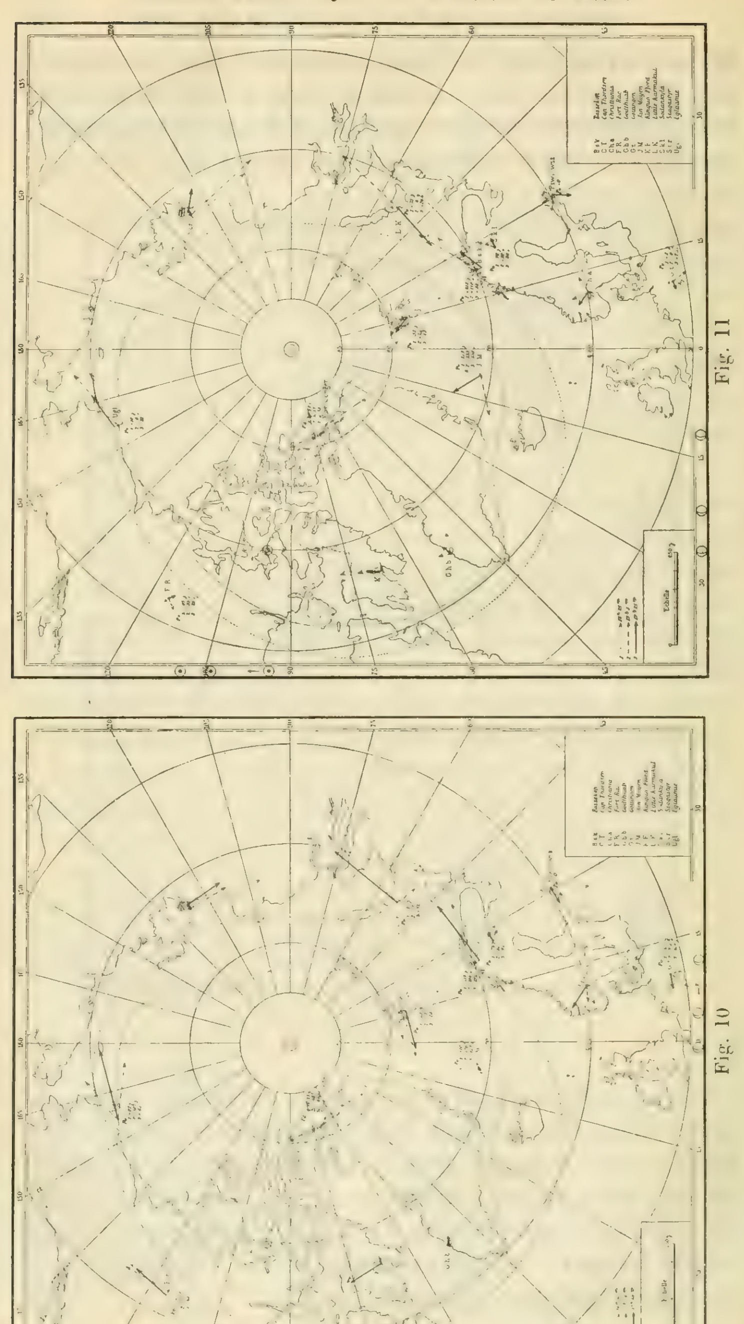


Fig. 11

Fig. 10

J'ai examiné en particulier chacune des perturbations. Cela m'a permis de constater à maintes reprises une grande régularité en ce qui concerne la façon dont se déroule l'orage. Pour apporter à cet égard toute la clarté possible, j'ai procédé à un classement statistique des perturbations et de leur manière de se présenter aux quatre stations polaires (fig. 12), où notre expédition avait, en 1902-1903, rassemblé ses matériaux.

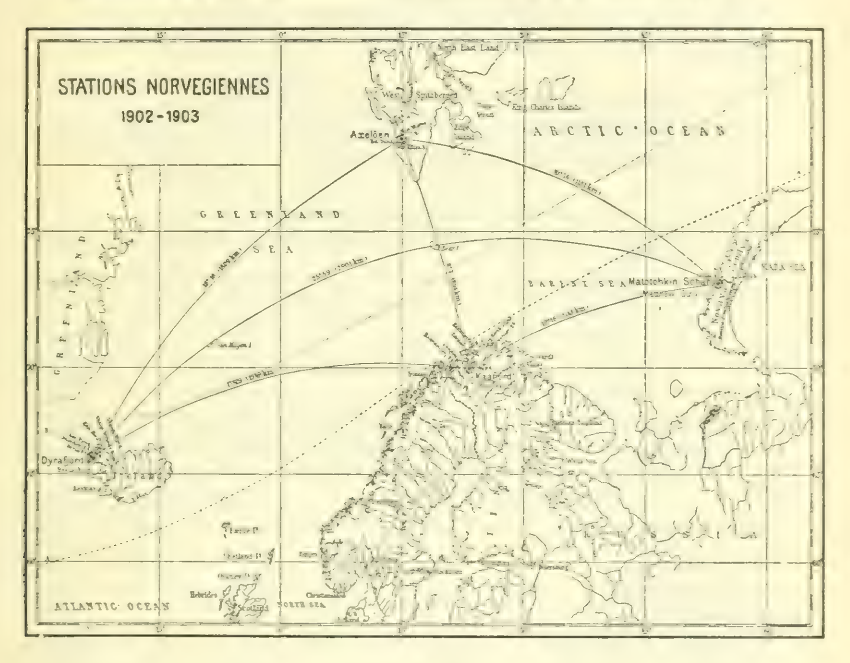


Fig. 12

En ce qui concerne le procédé employé, je ferai remarquer que la *quantité des perturbations* qui se produisent pendant un intervalle de temps déterminé a été mesurée par la *somme des perturbations*.

Avec la somme absolue des perturbations pendant la période t jusqu'à $t + T$ pour un des éléments magnétiques, on aura :

$$S_h^a = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} (P_h)\, dt$$

où P_h est la force perturbatrice.

Pour étudier séparément les perturbations positives et néga-

tive dans chacune des composantes, nous définirons de la façon suivante la somme des perturbations positive et négative :

$$S_h^p = \frac{1}{T}\int_t^{t+T} P_h^p \, dt \quad \text{et} \quad S_h^n = \frac{1}{T}\int_t^{t+T} P_h^n \, dt$$

Je me suis attaché à résoudre les deux questions suivantes :

1° La répartition de la somme des perturbations sur la durée du jour pour les trois composantes;

2° La variation de la somme totale des perturbations avec le temps.

Voici quelques-uns des résultats que j'ai obtenus :

La fig. 13 montre cette répartition sur la durée du jour pour les quatre stations, du 2 décembre 1902 au 1er mars 1903.

Somme des perturbations dans la durée du jour.

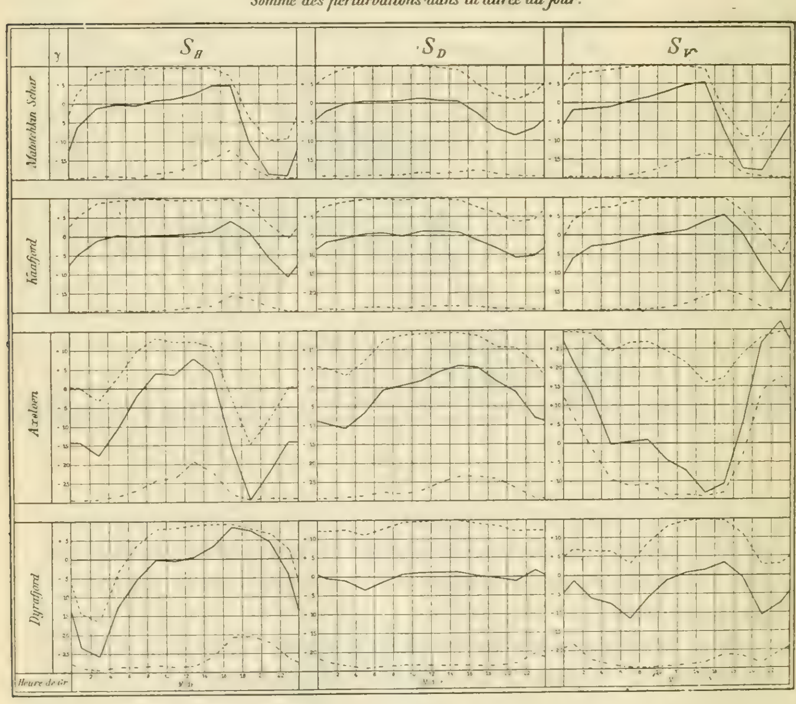


Fig. 13

Les courbes du haut indiquent la somme des perturbations négatives pour chacune des composantes.

Celles du bas indiquent la somme des perturbations positives. La courbe du milieu représente la différence entre les deux. Elle représente en outre la perturbation magnétique que nous aurions eue, si toutes les perturbations survenues pendant la période indiquée s'étaient produites en un seul et même jour, mais de telle sorte cependant que l'heure de leur apparition ne fût pas changée.

Cette perturbation moyenne présente justement la même marche caractéristique que, dans notre étude détaillée, nous avions trouvée pour les orages polaires.

Ceci apparaîtra clairement dans les figures suivantes, où les perturbations sont indiquées en un exposé synoptique.

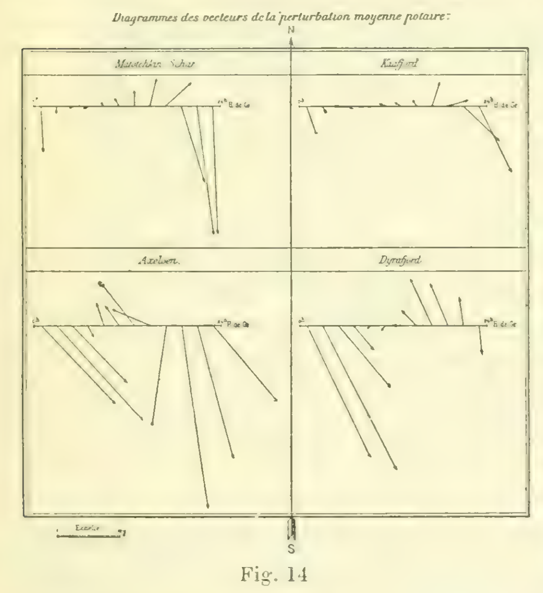


Fig. 14

La fig. 14 montre les forces perturbatrices horizontales pendant la durée du jour : pendant l'après-midi, on trouve des *orages polaires positifs* et pendant la nuit des *orages polaires négatifs.*

Pendant le maximum des orages, les flèches de courant sont dirigées le long de la ceinture d'aurore boréale; la fig. 15 montre les flèches de courant pour quatre époques.

Le tableau suivant indique les heures pour la période de calme, ainsi que pour le maximum des orages positifs et négatifs. On verra que la répartition de la somme des perturbations suit l'heure *locale.*

La répartition des perturbations semble indiquer avec certitude que les orages polaires sont dus en très grande partie à

Stations	Période de calme		Maxim. des perturb.	
	Durée	Moyenne	Pos.	Nég.
	h	h	h	h
Matotchkin Schar . . .	8 —13	10,5	18,6	0,3
Kaafjord	7 —14	10,5	18,5	0,0
Axelöen	7 —10	8,5	17,3	1,3
Dyrafjord	8,5—12,5	10,5	16,5	0,8
	Moyenne . . .		17,7	0,6

une action *directe* du soleil et qu'ils suivent immédiatement cette action.

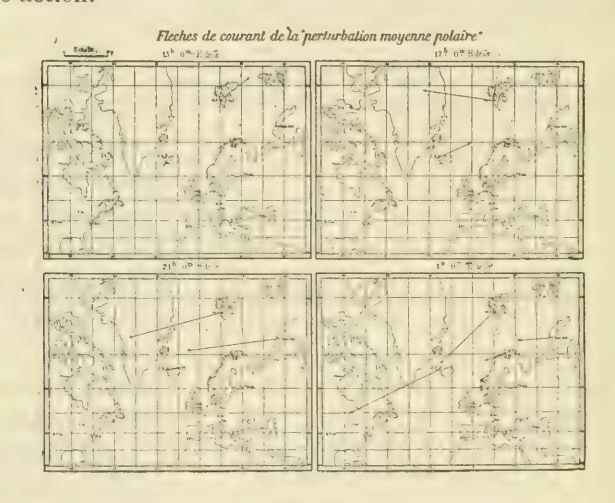


Fig. 15

La fig. 16 indique la variation de la somme des perturbations, avec les périodes représentées graphiquement. Une période d'un mois est ici très saillante.

En ce qui concerne la cause physique des orages magnétiques, je crois pouvoir démontrer qu'on peut les supposer provoqués par l'action magnétique des rayons du groupe *p* provenant du soleil formant autour de la terre un champ magnétique qui, dans certaines circonstances, *donnera précisément lieu* à des orages magétiques des quatre types cités plus haut.

Plusieurs physiciens admettent déjà l'existence de ces rayons

corpusculaires émanant du soleil, et on ne tardera pas à reconnaître que ces nouveaux rayons solaires, que j'ai découverts, jouent un rôle considérable dans beaucoup de phénomènes terrestres, même si leur importance ne peut entrer en comparaison avec nos bons vieux rayons solaires.

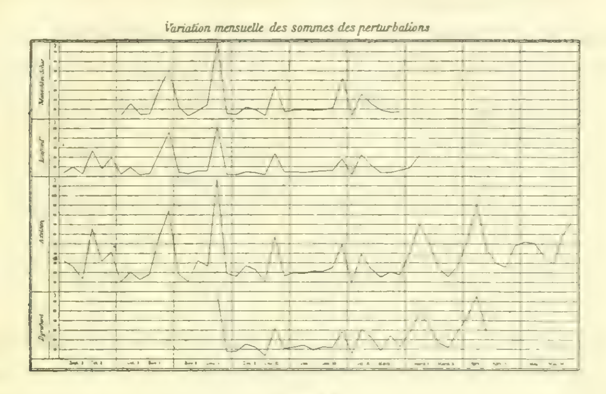


Fig. 16

Par suite de l'état magnétique de la terre, ces nouveaux rayons pénètrent surtout dans les régions polaires du globe.

Au cours d'expériences faites avec un globe magnétique dans un grand tube de décharge, je me suis rendu compte de la façon dont les rayons se meuvent séparément, et de la façon dont ils se groupent en un tout autour d'un globe magnétique.

On sait que mon collègue, M. Störmer, en partant de mes expériences, a calculé un grand nombre de trajectoires pour les corpuscules électriques autour d'un *aimant élémentaire*, et mes expériences montrent combien beaucoup de ces calculs concordent parfaitement, aussi pour un globe magnétique.

La fig. 17 (pl. II) montre le tube de décharge avec un générateur à courant continu de 20.000 volts système Thury, de Genève, dont je me suis servi pour toutes les expériences au cours desquelles ont été prises les photographies suivantes.

Afin de rendre aussi nettes que possible les photographies des phénomènes lumineux, le tube de décharge a été composé de plaques de verre à glaces de 20 millimètres d'épaisseur (fig. 18). On voit la terrella munie d'un écran horizontal et d'un écran

vertical. On aperçoit par la luminosité dans le vide comment les rayons sont aspirés par les pôles de la terrella.

La caisse représentée sur la fig. 18 (pl. II) représente un volume de 22 litres. J'en possède maintenant une plus grande, d'une contenance de 70 litres, qui me sert à un objet spécial; comme je l'indiquerai plus loin.

La fig. 19 (pl. II) indique comment avec une aimantation convenable il se produit sur la terrella trois figures lumineuses sphériques. Les photographies ont été prises simultanément de trois côtés différents.

Sur la fig. 20 (pl. II), le phénomène a été étudié plus avant, la terrella ayant aussi été munie d'un écran horizontal. On aperçoit sur cet écran horizontal une ligne de précipitation très nette. En pratiquant une fente dans l'écran, on constate que les rayons se croisent dans cette ligne de précipitation.

Sur la fig. 21 (pl. III), on voit nettement la course ultérieure des rayons. On a pratiqué pour cela dans l'écran horizontal trois fentes séparées les unes des autres par une distance angulaire de 110°.

Les rayons se croisent dans le plan équatorial magnétique successivement à travers ces trois fentes.

La course ultérieure des rayons s'aperçoit mieux encore sur la fig. 22 (pl. III), où la terrella est munie d'un écran vertical avec fente horizontale. Si l'on place la fente dans la ligne d'intersection des rayons, presque tous ceux-ci passent à travers la fente. Il en est autrement, si on ne laisse passer par la fente qu'un petit faisceau de rayons ; on voit alors les rayons, qui se meuvent le plus près possible du plan équatorial magnétique, se croiser trois fois sur la terrella.

Sur la fig. 23 (pl. III) on peut poursuivre l'étude du phénomène. Une augmentation de l'aimantation de la terrella permet d'obtenir des précipitations secondaires, spécialement après la précipitation principale du côté de la nuit. J'ai pu en distinguer ainsi une vingtaine. Enfin les précipitations se recouvrent les unes les autres et disparaissent en partie sur la terrella, à l'exception de deux anneaux ou spirales lumineuses autour des pôles magnétiques. Je reviendrai d'ailleurs sur ce phénomène en expliquant les draperies d'aurore boréale.

On aperçoit très nettement ces anneaux lumineux sur les photographies suivantes (fig. 24, pl. III), où l'on peut les voir diminuer s'il se produit une aimantation plus forte de la terrella. Nous avons ici sur la terrella 10, 20 et 30 ampères, alors que la tension est partout de 2.500 volts. Il est bon de remarquer que l'axe magnétique a été ici placé horizontalement, afin que la photographie fût plus facile à prendre et que les images devinssent plus nettes.

C'est pour que cet anneau lumineux devienne proportionnellement aussi petit que l'est la ceinture d'aurore sur la terre que je me suis procuré le grand réservoir de décharge de 70 litres. dont je parle plus haut. J'avais une terrella qui pouvait être aimantée suffisamment (elle a un diamètre de 8 centimètres et exige une puissance de 6 chevaux pour être suffisamment aimantée); mais elle projette tous les rayons contre les parois de verre dans mon ancien tube de décharge. Dans le nouveau, au contraire, tous les phénomènes correspondront exactement à ce qu'ils sont sur la terre.

Les rayons continuent à se croiser dans le plan équatorial magnétique en le suivant plus ou moins au-dessus et au-dessous. Les rayons peuvent acquérir quelquefois une telle intensité qu'il se produit un anneau lumineux équatorial dans le vide (fig. 25, pl. IV).

Nous revenons maintenant aux anneaux de précipitations *polaires*, que nous supposons correspondre à la ceinture d'aurore sur la terre. Je présume que lorsque la terrella est aimantée à un tel point que les anneaux lumineux polaires qui s'y manifestent ont le même diamètre sphérique que la ceinture d'aurore boréale sur la terre, le système de rayons cosmiques autour de la terre, qui engendre les aurores boréales et les orages magnétiques, est *conforme* au système de rayons cathodiques autour de la terrella.

Tous les rayons de courbure pour les rayons cosmiques autour de la terre ont des dimensions qui dépassent d'autant plus les rayons de courbure correspondants pour les rayons cathodiques autour de la terrella, que le rayon de la terre est plus grand que celui de la terrella.

Les expériences ont permis de fixer directement, en partant

des prévisions énoncées ci-dessus, la rigidité magnétique des rayons corpusculaires présumés émanant du soleil. Elle atteint pour ces rayons cosmiques une telle valeur que pour leur trajectoire H. $\rho = 3 \times 10^6$ environ.

Et précisément parce que cette rigidité est si énorme, il est permis de supposer que les rayons peuvent percer la zone du soleil, d'où ils émanent, et pénétrer profondément dans l'atmosphère terrestre, comme il a été prouvé que le faisaient quelquefois les rayons d'aurore boréale.

Adam Paulsen dit de ses observations au Groenland : « Dans une certaine zone, qui traverse le Groenland méridional, sur une largeur d'au moins 4 degrés de latitude, le champ où les aurores boréales peuvent se produire s'étend depuis les régions les plus élevées de l'atmosphère jusqu'à la surface du sol. »

Dans une note à l'Académie des sciences de Paris, le 24 janvier 1910, j'ai traité ces questions d'une façon un peu plus approfondie. Tout récemment (le 2 juillet 1910), Lénard s'est également occupé de ces intéressants problèmes dans une note à la Heidelberger Akademie der Wissenschaften.

Nous arrivons maintenant à quelques expériences très importantes (fig. 26, pl. IV), qui jettent une très grande lumière sur les causes des orages polaires positifs et négatifs.

Un écran à huit bras est placé au-dessus du pôle sud de la terrella, qui correspond au pôle nord de la terre, de la façon indiquée sur les figures. Les rayons cathodiques viennent de la droite. Les rayons formant le cercle polaire forment également sur l'écran à huit bras deux systèmes de précipitations caractéristiques.

On trouve sur le côté *ouest* des bras de l'écran une précipitation lumineuse, tandis qu'il n'y a rien de correspondant du côté *est*, et l'on aperçoit à l'est, derrière les écrans, des ombres noires dans la ceinture d'aurore boréale.

Ce *système* de précipitations correspond donc à des rayons qui, spécialement du côté de la nuit de la terre, ont une composante tangentielle allant de l'ouest à l'est. Remarquons d'ailleurs qu'il n'y a que les rayons les plus rigides qui atteignent la terrella, les autres suivent davantage la tangente. Une « flèche de courant » correspondant aux rayons aura donc la même orientation que dans les orages polaires négatifs.

L'*autre système* de précipitations apparaît du côté *est* des bras de l'écran, et seulement du côté de l'après-midi et du côté du soir de la terrella.

Ces précipitations correspondent donc à des rayons ayant une composante tangentielle qui va de l'est à l'ouest et une flèche de courant correspondante aura par conséquent la même orientation que dans les orages polaires positifs. La position de la précipitation correspond aussi complètement à la façon dont se produisent ces orages positifs sur la terre.

Je ne puis pas ici m'appesantir davantage sur l'étude de ces rayons, et il me faut renvoyer au nouveau volume de mon livre, qui va prochainement être publié. Ceux qui voudront bien suivre exactement tout le labyrinthe des expériences qui ont été faites, et dont je n'expose ici que la plus petite partie, seront certainement attirés par leur beauté scientifique, et ils verront enfin des difficultés considérables se résoudre en une clarté surprenante.

Je mentionnerai ensuite en quelques mots la question de la formation des *draperies d'aurores boréales*, considérée d'après cette théorie, et en me basant sur mes expériences et sur l'hypothèse énoncée ci-dessus de la conformité existant entre les systèmes de rayons autour de la terre et autour de la terrella.

J'ai écrit dans mes publications antérieures que les dits *rayons* dans les aurores polaires étaient surtout formés par des rayons cathodiques secondaires, produits par ce fait que les rayons cosmiques primaires pénétraient dans l'atmosphère terrestre. On pourra toujours, jusqu'à un certain point, soutenir cette idée, mais par suite des conditions d'absorption et par suite aussi de l'énorme rigidité magnétique des rayons, j'ai été amené à adopter une autre solution, que semblent confirmer mes expériences avec la terrella, et c'est que les *rayons* d'aurores boréales sont produits par de discrets faisceaux de rayons cosmiques qui sont projetés vers la terre, presque exactement le long des lignes de force magnétique et sans rotation sensible autour de celles-ci.

Les rayons cosmiques qui pénètrent ainsi dans l'atmosphère terrestre sont complètement absorbés, de telle sorte qu'ils ne retournent jamais dans l'espace.

On voit que cette explication des *rayons* d'aurores boréales est bien différente des idées de Villard et de Störmer.

Essayons maintenant de nous imaginer comment peut s'expliquer la formation d'une draperie, produite par ces rayons d'aurore (fig. 27, pl. IV) (d'après Bravais).

On voit souvent ces draperies se former de l'ouest à l'est sur le ciel. Mais elles se produisent presque aussi souvent dans la direction opposée, les rayons tombant les uns après les autres parallèlement vers la terre et se joignant aux premiers tombés pour former ainsi avec eux une draperie. Il se produit fréquemment dans ces draperies des ondes lumineuses. Les rayons alors s'enflamment et s'éteignent, et ce phénomène paraît parcourir successivement la bande dans sa longueur. L'expérience de la terrella, qui nous fournit la meilleure explication de ces formations d'aurores, est celle qui nous montre les nombreuses précipitations secondaires qui se produisaient les unes après les autres dans la ceinture d'aurore, à mesure que le magnétisme devenait assez puissant (voir fig. 22 et 23). Ces précipitations devinrent à la fin innombrables et formèrent alors la spirale lumineuse, bien avant même que le magnétisme de la terrella eût atteint la force nécessaire pour obtenir la conformité du système des rayons cathodiques autour d'elle avec le système rayonnant autour de la terre. Les nombreuses précipitations sur la terrella sont produites par des rayons qui, originairement, étaient placés les uns auprès des autres dans un faisceau de rayons provenant de la cathode.

Les rayons cosmiques s'approchent de la terre de la même façon que nos rayons cathodiques viennent sur la terrella. Il est donc naturel de présumer que les rayons d'aurores boréales sont formés par des groupes distincts et relativements petits de rayons cosmiques, qui se séparent peu à peu d'un important faisceau de rayons et pénètrent ensuite dans l'atmosphère, après avoir traversé l'équateur magnétique, un groupe n fois, un deuxième groupe $(n + 1)$ fois, un troisième groupe $(n + 2)$ fois, etc.

Je suppose en outre que la rigidité magnétique des rayons cosmiques peut différer légèrement et n'être pas exactement uniforme. Le phénomène présente donc une marche moins simple que celle qui lui a été supposée plus haut.

Les expériences faites avec la terrella nous permettent de calculer approximativement la différence de temps correspondant ainsi à l'apparition successive des rayons d'aurore dans l'atmosphère, lorsque se forme la draperie, et les résultats semblent concorder avec les observations sur les aurores boréales. Il en est de même avec les ondes lumineuses qui se produisent dans une draperie d'aurore. Si la masse primitive des rayons du soleil augmente ou diminue soudain, cette augmentation ou cette diminution se manifestera successivement par les rayons un par un.

Ces questions vont se trouver traitées d'une façon plus détaillée dans le second volume de mon ouvrage.

Je mentionnerai en terminant quelques observations faites le printemps dernier à mon observatoire, sur le pic de Haldde, près de Bossekop, au moment du passage de la comète de Halley. On constata qu'après de violents orages magnétiques, il pouvait se produire une forte ionisation de l'atmosphère, de telle sorte que la conductibilité spécifique électrique de celle-ci était à certains moments 200 fois plus grande que la normale. L'atmosphère, au sommet de la montagne, avait une conductibilité telle qu'on aurait pu croire qu'il y avait du radium dans le voisinage des appareils.

Nous nous trouvons ici en face d'une découverte sans doute très importante, car on a ainsi trouvé une liaison électrique entre les phénomènes magnétiques de la terre et les phénomènes météorologiques. L'ionisation prononcée de l'atmosphère influe en effet sur la formation des nuages et sur l'état électrique de la terre.

Cette conductibilité électrique extraordinairement grande dans l'atmosphère, d'ailleurs déjà observée une fois en 1900 au-dessus de l'observatoire de Haldde, remet en mémoire la célèbre observation, faites par le professeur Lemström au sommet d'une montagne à Sodankulæ, en Finlande, où il vit l'air au-dessus de la montagne briller, comme s'il y avait eu une aurore boréale au sommet.

J'ai l'intention de refaire moi-même cet hiver une expédition à l'observatoire de Haldde, afin de constater à nouveau le remarquable rapport qui semble exister entre les orages magnétiques et la conductibilité spécifique de l'atmosphère.

J'ai le plaisir de pouvoir communiquer que le Storthing norvégien vient de voter, sur ma demande, les moyens nécessaires pour faire construire sur la montagne de Haldde un observatoire moderne et permanent en reconnaissant la très grande importance des études faites là-haut.

SUR LES TRAJECTOIRES

DES CORPUSCULES ÉLECTRISÉS DANS L'ESPACE

sous l'action du magnétisme terrestre

avec application aux aurores boréales, etc.

(Second mémoire [1])

PAR

Carl STÖRMER

Dans les livraisons de juillet-septembre 1907 de ce journal, j'ai publié un mémoire sur les trajectoires des corpuscules électrisés sous l'action du magnétisme terrestre, suivi des applications aux expériences de M. Kr. Birkeland et aux phénomènes d'aurores boréales et de perturbations magnétiques.

Depuis ce temps, j'ai poursuivi mes recherches dans différentes directions. D'un autre côté, ont paru les importants travaux de mon collègue, *M. Kr. Birkeland*, sur les orages magnétiques, ce qui a ouvert des voies nouvelles ; enfin, dans une expédition à Bossekop, dans la Norvège septentrionale, expédition qui a eu lieu l'année dernière, j'ai réussi à prendre de bonnes photographies de l'aurore, ce qui donne de nouvelles méthodes d'observations très exactes et très faciles à employer.

Pour ces raisons, je crois utile de publier dans cet article une série de résultats nouveaux, d'autant plus que dans le second volume de l'ouvrage de M. Birkeland, qui paraîtra bientôt, on trouvera une multitude d'expériences remarquables [2], qui

[1] Pour le premier mémoire, voir *Archives*, 1907, t. XXIV, p. 5, 113, 221, 317.

[2] Voir un résumé en norvégien dans le *Teknisk ugeblad*, 2 et 9 décembre 1910, Christiania.

auront besoin d'être étudiées aussi à l'aide de l'analyse mathématique que j'ai développée dans mon premier mémoire.

INTRODUCTION

Comme on s'en souviendra, j'ai, dans le mémoire de 1907, développé une théorie mathématique des aurores boréales et des perturbations magnétiques en me basant sur l'hypothèse de M. Birkeland, que ces phénomènes sont dus à des courants de corpuscules venant de l'espace cosmique (soleil) et se mouvant sous l'action du magnétisme terrestre. On ne peut pas ne pas rappeler ici que cette idée de M. Birkeland avait été formulée dans une certaine mesure 15 années auparavant par M. Goldstein [1] qui, dans son mémoire [2], « *Ueber die Entladung der Elektrizität in verdünnten Gasen* », s'exprime ainsi :

« Die Annahme, dass das Vacuum leitungsfähig sei, hat natürlich weitreichende Konsequenzen, besonders auf kosmischem Gebiete. Das Schicksal der meisten bisherigen Versuche, auf experimentelle Resultate kosmisch-physikalische Theorien zu gründen, kann zur Nachahmung nur wenig reizen. Indessen erlaube ich mir, wenigstens darauf hinzuweisen, dass gewisse tellurische Erscheinungen elektrischer und magnetischer Natur, welche man — wegen der Coencidenz ihrer Perioden oder Einzelerscheinungen mit solaren Veränderungen — als statischer Influens, magnetischer Induktion, etc., des Sonnenkörpers zu erklären versucht hat, möglicherweise sich bequemer zu elektrischen Strömen in Beziehung setzen lassen, welche den interplanetaren Raum vom Zentralkörper aus durchfliessen. Die experimentellen Erfahrungen zeigen bei fortschreitender Eliminierung des ponderabeln Mediums keine Grenze für die Ausdehnung jener merkwürdigen Bewegung, die wir in den Kathodenstrahlen beobachten, es wäre denkbar, dass die Sonne neben Lichtstrahlen auch elektrische Strahlen in weite Räume aussendet. »

[1] M. Birkeland a lui-même mentionné les idées de M. Goldstein à la seconde page de son grand mémoire sur le sujet, *Kristiania Vidensk. Selsk. Skrift.*, 1899, n° 1, p. 168 et suiv.; voir aussi le livre de M. Bosler : *Les théories modernes du soleil.*

[2] *Wiedemanns Annalen*, t. XII, 1881, p. 266.

Cependant, quoique la priorité n'appartienne pas absolument à M. Birkeland, c'est à lui qu'on doit les expériences si remarquables sur « la succion des rayons cathodiques vers un pôle magnétique », expériences qui ont définitivement donné corps à son idée.

Outre ces expériences, il avait, à l'époque de la publication de mon mémoire de 1907, donné la description de certains phénomènes qu'il avait observés en plaçant un globe magnétique dans un courant de rayons cathodiques. Ces phénomènes, dont on trouve la description dans mon mémoire de 1907, étaient des plus suggestives et très concluantes en faveur de son hypothèse.

Rappelons les résultats principaux de l'analyse mathématique développée dans mon mémoire de 1907.

Nous sommes partis des hypothèses que voici :

A. On néglige les mouvements propres du soleil et de la terre et on ne considère que leurs positions relatives.

B. On suppose que les corpuscules électriques se meuvent d'après les lois qu'on a observées pour les rayons cathodiques ordinaires dans un champ magnétique.

On néglige alors les actions électromagnétiques possibles, ou bien entre les corpuscules eux-mêmes, ou bien sur l'état magnétique de la terre.

C. On suppose que les corpuscules ne sont pas soumis à d'autres forces que le magnétisme terrestre.

On néglige donc l'action possible de la gravitation, de la force répulsive de la lumière, et des champs électromagnétiques possibles entourant les corps célestes.

D. Quant au magnétisme terrestre, nous l'assimilons comme première approximation au champ d'un aimant élémentaire, de moment $8{,}52.10^{25}$ C.G.S., placé au centre de la terre avec son axe le long de l'axe magnétique de celle-ci, le pôle sud tourné vers les régions arctiques.

Cela posé, l'analyse mathématique donnait l'explication des faits suivants :

1° Les expériences de M. Birkeland publiées à ce moment ;

2° Le fait que les aurores polaires apparaissent surtout dans les zones arctique et antarctique ;

3° Plus particulièrement, que les aurores apparaissent, en général, à l'intérieur de deux zones correspondant aux zones de fréquence maximum des aurores polaires;

4° Que les aurores peuvent apparaître pendant la nuit;

5° Que les aurores, et aussi les perturbations magnétiques, présentent si souvent des changements brusques;

6° Que ces phénomènes peuvent se répéter quelques jours de suite, presque à la même heure;

7° Que les rayons auroraux suivent les lignes de force magnétique;

8° Que l'aurore a une tendance marquée à s'étendre en arcs, bandes ou draperies beaucoup plus longues que larges, orientées perpendiculairement aux méridiennes magnétiques;

9° Que ces draperies peuvent apparaître, plusieurs à la fois, l'une derrière l'autre.

Cependant, en supposant que la déviabilité magnétique des corpuscules soit de l'ordre des rayons cathodiques et des rayons β du Radium, on était conduit à une zone d'aurore trop étroite, ayant un rayon de 6° au plus, tandis que la zone véritable avait un rayon de 20 à 25°.

Même en supposant la déviabilité de l'ordre des corpuscules α du Radium, on n'obtiendrait qu'un rayon de 16 à 18°.

Dans mon mémoire, j'avais indiqué comme probable que l'on obtiendrait des résultats plus conformes à la réalité, lorsqu'on tiendrait compte du vrai champ magnétique autour de la terre, au lieu de se servir de l'approximation indiquée comme hypothèse D. J'avais annoncé aussi que les calculs nécessaires étaient déjà commencés.

Pendant les années 1907 à 1910, j'ai été occupé de ces calculs difficiles, dont on trouve un court résumé dans la première partie de ce mémoire. Les résultats étaient négatifs et il fallait donc avoir recours aux autres hypothèses.

Déjà, dans mon mémoire de 1907, j'avais dit :

« Il y a encore une circonstance digne de remarque. On voit comme les zones théoriques d'aurore s'éloignent de l'axe magnétique à mesure que $H_0\rho_0$ croît. Cela explique peut-être comment les aurores qui accompagnent les grandes taches solaires peuvent être observées en des endroits beaucoup plus éloignés de

l'axe magnétique que les aurores ordinaires ; en effet, il est probable que les corpuscules émis par le soleil, par de pareilles et violentes éruptions sont beaucoup plus difficiles à dévier par les forces magnétiques que les corpuscules émis dans des conditions ordinaires ; en d'autres termes, elles auront des valeurs beaucoup plus grandes pour $H_0\rho_0$. »

Mais tout en admettant ainsi la possibilité des corpuscules beaucoup moins déviables que les corpuscules des rayons cathodiques et des rayons β, je n'avais pas consacré beaucoup d'attention à ce côté de la question. En effet, j'avais été conduit à un autre mode d'explication consistant en ceci :

Les systèmes de courants corpusculaires causant l'aurore et causant aussi les orages magnétiques, peuvent créer, à une grande distance de la terre, des champs magnétiques capables d'influer sur les trajectoires des corpuscules suivants, mais dont l'action observée à la surface de la terre est très faible.

Ainsi, un courant ayant la forme d'un anneau dans le plan magnétique équatorial de la terre, aura pour effet *d'augmenter considérablement le rayon de la zone d'aurore.*

Il me semble tout-à-fait nécessaire de tenir compte de cet effet pour ne pas obtenir pour $H_0\rho_0$ des valeurs théoriques trop grandes.

Cependant, les recherches sur les orages magnétiques avaient été poursuivies avec beaucoup de force par M. Birkeland et ses aides. En 1908, parut le premier volume de son ouvrage : *The norwegian aurora polaris expedition. 1902-1903*, où l'on trouve une étude détaillée de toute une série de perturbations magnétiques, suivie d'une belle série de nouvelles expériences, avec un globe magnétique dans un courant de rayons cathodiques. J'eus l'occasion d'y donner quelques contributions nouvelles à la théorie (p. 157-160), et de calculer le produit $H_0\rho_0$ pour les corpuscules correspondant à une certaine classe des perturbations. Il en résultait la valeur énorme de 93 millions.

C'est cependant pendant la préparation du second volume, que M. Birkeland est arrivé à des conclusions mieux fixées sur la nature des corpuscules causant l'aurore boréale.

En effet, dans une note insérée dans les *Comptes rendus* du 24 janvier 1910, il dit : « Mais il est toutefois nécessaire d'ad-

mettre que les rayons provenant du soleil ont une déviabilité magnétique énormément moins grande que les rayons de groupe β que nous connaissons jusqu'ici. » Et un peu plus loin : « Ces rayons corpusculaires du soleil se meuvent donc avec une vitesse qui n'est que d'une centaine de mètres, à peu près, inférieure à celle de la lumière. Ces résultats bien extraordinaires et presque décourageants, au premier coup d'œil, se concilient pourtant bien avec certaines observations. Plusieurs observateurs ont constaté dans les régions polaires, que l'aurore peut descendre quelquefois très bas dans l'atmosphère et même jusqu'à la surface terrestre. Il faut donc admettre que les rayons qui produisent ce phénomène, et que nous supposons venir du soleil, peuvent traverser notre atmosphère, ce qui revient à pénétrer une couche de 760 mm. de mercure, en admettant la loi de pénétrabilité d'après les masses. »

Nous ferons la critique de ces hypothèses dans une partie subséquente du présent mémoire.

Tout-à-fait indépendamment de M. Birkeland, *M. P. Lenard* était arrivé, de son côté, à des conclusions analogues, dans son mémoire : Ueber die Strahlen der Nordlichter, *Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften,* 2 Juli 1910. En partant de mes formules[1] correspondant à l'hypothèse D, citée plus haut, il fait remarquer que la situation de la zone de fréquence maximum des aurores boréales correspond à une valeur de $H_0\rho_0$ de l'ordre de 1 million à peu près. D'un autre côté, les premières mesures exactes de l'altitude de l'aurore, obtenues sur mon expédition à Bossekop, lui donnaient la preuve que la pénétrabilité des corpuscules auroraux était plus grande que celle des rayons β[2].

[1] Voir aussi ma note dans les *Comptes rendus* du 24 octobre 1910. Dans cette note, j'avais dit : « Cela a conduit M. Birkeland », ce qui doit être rayé comme résultant d'un malentendu; en effet, dans une lettre, il m'a dit qu'il y était conduit uniquement par ses expériences.

[2] Pendant la correction des épreuves, j'ai reçu les travaux suivants, auxquels nous allons revenir dans une partie subséquente : P. Lenard, Ueber die Absorptiòn der Nordlichtstrahlen in der Erdatmosphäre, *Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie,* 13 mai 1911. — L. Vegard, On the Properties of the Radiation producing Aurora Borealis et On the Alpha-Ray Theory of Aurora Borealis, *Archiv for Mathematik og Naturvidenshab,* t. XXXI, Christiania, 1910 et 1911.

Une fois admis que la déviabilité magnétique des corpuscules causant l'aurore et les perturbations magnétiques, est beaucoup plus faible que celle des rayons β, il sera nécessaire de reprendre la théorie mathématique et de chercher les conséquences de cette nouvelle supposition.

Cependant nous allons d'abord présenter un exposé des recherches que nous avons faites depuis la publication du mémoire de 1907.

(A suivre.)

NITRATION

DES TROIS

NITROBENZOYL-p-ANISIDINES

ISOMÈRES

PAR

Frédéric REVERDIN [1]

Les recherches que j'ai faites antérieurement, avec divers collaborateurs [2], sur la nitration des dérivés benzoylés du p-aminophénol et de la p-anisidine, m'ont permis de constater, à plusieurs reprises, que dans cette opération le résidu « benzoyle » s'empare souvent d'un groupe « nitro » et que celui-ci entre généralement en position « meta ».

Il m'a paru intéressant d'examiner comment se comporteraient à la nitration les dérivés dans lesquels cette substitution du résidu « benzoyle » existe déjà et de voir si les positions différentes que le groupe « nitro » peut occuper dans ce résidu ont une influence sur la nature des produits de la nitration et sur la facilité avec laquelle se forment, en particulier, ceux qui sont le plus nitrés.

J'ai choisi, pour commencer cette étude, les trois nitrobenzoyl-p-anisidines isomères.

Ces composés, qui ne sont pas mentionnés dans le « Lexikon

[1] Les résultats de ces recherches ont été communiqués à l'Assemblée générale de la *Société suisse de Chimie* le 1er août 1911. (Session de la *Société helvétique des Sciences naturelles,* à Soleure.)

[2] Reverdin et Dresel, *Arch. des Sc. phys. et nat.* 1904, t. XVIII, p. 433; Reverdin et Delétra 1906, t. XXI, p. 288; Reverdin et Cuisinier 1906, t. XXII, p. 449; Reverdin et Dinner 1907, t. XXIV, p. 77; Reverdin et de Luc 1909, t. XXVII, p. 383, t. XXVIII, p. 439 et 1910, t. XXIX, p. 476.

der Kohlenstoff-Verbindungen » de M. M. Richter. ont été préparés comme suit,

o-nitrobenzoyl-p-anisidine

OCH^3

$NH.C^7H^4O.NO^2(o)$

On a chauffé au bain-marie en solution alcoolique, 1 mol. de chlorure d'o-nitrobenzoyle, 1 mol. de p-anisidine et un peu plus de 2 mol. d'acétate de soude; l'o-nitrobenzoyl-p-anisidine qui n'est pas très soluble dans l'alcool, se dépose et après avoir été cristallisée une fois dans l'alcool est en jolies aiguilles légèrement jaunes de F = 170°. Ce composé est soluble à chaud dans l'alcool pur et étendu, ainsi que dans l'acide acétique; il est difficilement soluble dans le benzène à chaud et soluble à froid dans l'acétone.

0.1364 gr. subst. ont donné 13 cc. N (11°; 697 mm.)
Soit trouvé N = 10.51 %
Calculé N = 10.30 % pour $C^{14}H^{12}O^4N^2$.

m-nitrobenzoyl-p-anisidine. — Préparée de la même manière avec le chlorure de m-nitrobenzoyle, elle cristallise dans l'alcool en jolies aiguilles jaune verdâtre de F = 174.5°, peu solubles à froid dans l'alcool, l'acide acétique et le benzène, solubles à chaud.

0.1495 gr. ont donné 14.6 cc. N (11°; 697 mm.)
Soit trouvé N = 10.77 %
Calculé N = 10.30 % pour $C^{14}H^{12}O^4N^2$.

p-nitrobenzoyl-p-anisidine. — Le chlorure de p-nitrobenzoyle se décomposant facilement en présence de l'alcool pour fournir l'éther éthylique de l'acide p-nitrobenzoïque de F = 58°, j'ai, pour la préparation de ce troisième isomère, mélangé les solutions dans l'éther de 1 mol. de chlorure de p-nitrobenzoyle et de 2 mol. de p-anisidine; la p-nitrobenzoyle-p-anisidine se dépose immédiatement et il suffit, après avoir chassé l'éther, de laver le résidu à l'eau acidulée afin d'éliminer l'excès de chlorhydrate de p-anisidine, pour obtenir le produit presque pur, avec un rendement quantitatif. Il est, à l'état pur, en aiguilles jaunes, légèrement verdâtres de F = 197°, moins solubles dans

l'alcool que les précédents, solubles à chaud dans l'acide acétique, peu solubles dans le benzène, même à chaud.

0.1363 gr. subst. ont donné 12.9 cc. N (12°; 698 mm.)
Soit trouvé N = 10.41 %
Calculé N = 10.30 % pour $C^{14}H^{12}O^{4}N^{2}$.

Dans les essais de nitration que je vais relater, et que je me suis efforcé de faire comparativement à ceux des précédentes recherches, j'ai :

1° Fait réagir l'acide nitrique seul de D = 1.52, en introduisant peu à peu le composé à nitrer dans 10 parties de l'acide ;

2° Idem avec l'acide de D = 1.4;

3° En introduisant l'acide nitrique de D = 1.52 dans l'émulsion du produit à nitrer dans 10 parties d'acide acétique cristallisable;

4° Idem avec l'acide de D = 1.4.

L'introduction de la substance ou de l'acide a été commencée à la température ordinaire; je noterai, s'il ya lieu, dans la description des essais, la température atteinte pendant cette introduction, ainsi que la température à laquelle on a chauffé après, pour terminer la réaction.

La nitration des dérivés nitrobenzoylés de la p-anisidine a donné lieu dans bien des cas à des mélanges de produits nitrés difficiles à séparer, cristallisant ensemble et constituant souvent les produits secondaires de la réaction; je m'attacherai, dans ce mémoire, à parler des produits principaux de la réaction qui ont pu être identifiés d'une manière certaine.

Enfin, la constitution des produits dont il va être question a été établie par l'examen des produits de la saponification sulfurique, c'est-à-dire des nitro-anisidines obtenues; je ne reviendrai pas sur cette saponification pour chaque cas particulier, mais je rendrai compte à la fin de ce travail des observations qui ont été faites à ce sujet, tous les dérivés obtenus ne se comportant pas d'une manière semblable.

Nitration de l'o-nitrobenzoyl-p-anisidine

1° Avec HNO^{3} de D = 1.52. T. 35° et 70°.

Lorsqu'on introduit l'o-nitrobenzoyl-p-anisidine dans l'acide, elle se dissout immédiatement avec élévation de la température

jusqu'à 35° ; en chauffant un instant au bain-marie, il commence à se dégager des vapeurs nitreuses, on laisse alors refroidir. Le liquide ayant été coulé le lendemain dans l'eau, on a obtenu un produit qui, après avoir été cristallisé dans l'acide acétique, a donné un premier dépôt de F = 250°, avec un rendement de 25 %, et qui, après purification dans l'acétone, dans laquelle il est très soluble, est en jolies aiguilles blanches de F = 255°. C'est l'*o-nitrobenzoyl-trinitro-2-3-6-p-anisidine :*

OCH^3

NO^2 ⟨ ⟩ NO^2

NO^2

$NH.C^7H^4O.NO^2(o)$

Cette substance est soluble à chaud dans l'acide acétique et dans l'alcool ; elle est peu soluble ou insoluble dans le benzène.

0.1082 gr. subst. ont donné 17 cc. N (23° ; 715 mm.)
Soit trouvé N = 17.02 %
Calculé N = 17.20 % pour $C^{14}H^9O^{10}N^5$.

Les eaux-mères acétiques renferment un mélange de couleur jaune, cristallisant mal et de F = 160-170° : j'ai pu en isoler de nouveau une petite quantité du dérivé trinitré dans le noyau, mais il renferme en outre et principalement des dérivés dinitrés sans doute, comme ceux de l'essai suivant.

2° Avec HNO^3 de D = 1.4. T. 70°.

Il s'est formé, comme produit principal, avec un rendement de 60 %, un mélange fondant mal, vers 170°, et qui a donné à la saponification de la dinitro-2-3 et de la dinitro-2-5-p-anisidine.

3° Avec HNO_3 de D = 1.52 et acide acétique. T. 50°.

Le produit de la réaction ayant été abandonné à la température ordinaire jusqu'au lendemain, il s'est déposé avec un rendement de 80 % des cristaux non homogènes qui, après une cristallisation dans l'alcool, ont fourni 50 % de jolies aiguilles jaune citron de F = 223°. Ce composé, peu soluble dans l'alcool même à chaud, plus soluble dans l'acide acétique et soluble dans l'acétone à froid est l'*o-nitrobenzoyl-dinitro-2-3-p-anisidine :*

OCH^3

⟨ ⟩ NO^2

NO^2

$N{H \atop C^7H^4O.NO^2(o)}$

0.1161 gr. subst. ont donné 16.1 cc. N (18°; 725 mm.)
Soit trouvé N = 15.52 %
Calculé N = 15.47 % pour $C^{14}H^{10}O^{8}H^{4}$

D'après les essais de saponification faits avec les produits secondaires de la nitration, il s'est formé également une petite quantité d'*o-nitrobenzoyl-dinitro-2-5-p-anisidine.*

4° Avec HNO_3 de D = 1.4 et acide acétique. T. 80°.

Traité comme le précédent, on a obtenu également 80 % d'un composé cristallisé en aiguilles orange de F = 172°, constitué par l'*o-nitrobenzoyl-mononitro-3-p-anisidine :*

OCH^3

NO^2

$N^{H}_{C^7H^4O(NO^2)(o)}$

0.1298 gr. subst. ont donné 15.6 cc. N (17°5; 725 mm.)
Soit trouvé N = 13.48 %
Calculé N = 13.24 % pour $C^{14}H^{14}O^{6}N^{3}$

Cette substance est peu soluble dans l'alcool et dans l'acide acétique à froid, mais elle y est soluble à chaud; elle se dissout à froid dans l'acétone et à chaud dans le benzène.

Nitration de la m-nitrobenzoyl-p-anisidine

1° Avec HNO^3 de D = 1.52. T. 35-70°.

Il ne se dépose rien par le refroidissement; après avoir coulé sur l'eau glacée, filtré et lavé, on a obtenu environ 70 % d'un produit fondant de 210-220°; ce composé peu soluble dans l'acide acétique a fourni, après purification, principalement de la *m-nitrobenzoyl-trinitro-2-3-6-p-anisidine* de F = 247° qui a déjà été décrite précédemment par de Luc et moi-même [1].

Les eaux-mères acétiques renfermaient un mélange de produits moins nitrés, fondant vers 170-175°, mais qui n'a pas pu être suffisamment purifié pour en identifier les composés.

2° Avec HNO^3 de D = 1.4. T. 60-70°.

La m-nitrobenzoyl-p-anisidine ne se dissout pas dans l'acide, tout en se nitrant, mais le produit de la réaction devient plus

[1] *Arch. Sc. phys. et nat.* 1909, t. XXVII, p. 383 et 1910, t. XXIX, p. 476.

fluide vers 60-70°; on l'a laissé à la température ordinaire jusqu'au lendemain et filtré; les eaux-mères nitriques ne renfermaient qu'une quantité insignifiante de substance, il n'en a pas été tenu compte, mais le dépôt qui correspond à 100 % est jaune et fond à 170-175°, c'est probablement le même mélange que celui qui a été retiré des eaux-mères du précédent essai. Les différents composés qui le constituent n'ont pu être amenés à l'état de pureté par les cristallisations et purifications répétées, mais j'ai pu me rendre compte que ce mélange renfermait en tout cas de la *m-nitrobenzoyl-mononitro-3-p-anisidine* de F = 165-166° (orange) et de la *dinitro-2-3* de F = 218° (jaune), en me basant, soit sur l'étude des produits obtenus dans les essais suivants, soit sur les essais de saponification et de nitration ultérieure.

3° Avec HNO^3 de D = 1.52 et acide acétique. T. 50-60°.

La solution abandonnée à la température ordinaire laisse déposer 70 % de cristaux en aiguilles jaune pâle de F = 218°. Ce composé, obtenu d'emblée à l'état pur, est la *m-nitrobenzoyl-dinitro-2-3-p-anisidine :*

OCH^3

(noyau benzénique) NO^2, NO^2

$NH.C^7H^4ONO^2(m)$

Cette combinaison est peu soluble dans l'alcool, même à chaud, soluble à chaud dans l'acide acétique pur et étendu, soluble à froid dans l'acétone.

0.1460 gr. subst. ont donné 20.5 cc. N (16°; 718 mm.)
Soit trouvé N = 15.68 %
Calculé N = 15.44 % pour $C^{14}H^{10}O^8N^4$

Elle donne par nitration subséquente, au moyen de HNO^3 de D = 1.52, le dérivé trinitré dans le noyau de F = 247°.

Les eaux-mères acétonitriques du composé ci-dessus renferment un mélange de dérivés nitrés, duquel je n'ai pu isoler de produit identifiable; il fond de 170-175° environ, et comme il fournit par nitration subséquente du dérivé de F = 218°, puis du dérivé de F = 247°, on peut admettre qu'il renferme principalement du produit de F = 165-166°. J'ai pu aussi en isoler cependant une combinaison cristallisée en jolies aiguilles jaune

citron de F = 192° qui, d'après l'analyse, serait un dérivé trinitré, mais en trop petite quantité pour pouvoir l'étudier de plus près.

4° Avec HNO^3 de D = 1.4 et acide acétique. T. 80°.

La solution abandonnée à la température ordinaire a laissé déposer un mélange cristallisé renfermant principalement un produit orange de F = 165-166° et du dérivé jaune de F = 218°, dont il vient d'être question. Ce produit orange est la *m-nitro-benzoyl-mononitro 3-p-anisidine :*

OCH^3

NO^2

$NH.C^7H^4O.NO^2(m)$

Cette combinaison est soluble à chaud dans l'alcool pur et étendu, soluble à froid dans l'acide acétique et dans l'acétone; elle fournit par nitration subséquente le dérivé de F = 218°.

0.1526 gr. subst. ont donné 19.5 cc. N (20°; 714 mm.)
Soit trouvé N = 13.99 %
Calculé N = 13.25 % pour $C^{14}H^{11}O^6N^3$

Nitration de la p-nitrobenzoyl-p-anisidine

1° Avec HNO^3 de D = 1.52. T, 45° et 50°.

Il se dépose par le refroidissement un produit cristallin jaune qui, après recristallisation dans l'acide acétique, a fourni 40 % d'un produit fondant au-dessus de 220° et qui, purifié encore, est finalement en aiguilles feutrées, blanches de F = 253° ; c'est la *p-nitrobenzoyl-trinitro-2-3-6-p-anisidine :*

OCH^3

NO^2 NO^2

NO^2

$N^H C^7H^4O.NO^2(p)$

Ce dérivé est très peu soluble dans l'alcool, très soluble dans l'acétone et se dissout également dans l'acide nitrique de D = 1.4, d'où il se dépose cristallin.

0.1417 gr. subst. ont donné 21.8 cc. N (15°; 715 mm.)
Soit trouvé N = 17.17 %
Calculé N = 17.20 % pour $C^{14}H^9O^{10}N^5$.

Les eaux-mères nitriques desquelles on a retiré 53 % de produit, renfermaient un mélange constitué principalement par le produit décrit ci-dessus et un dérivé de F = 208°, dont il sera question plus loin.

2° Avec HNO^3 de D = 1.4. T. 50°.

Le produit de la réaction ne s'est pas dissous dans cet essai, mais il s'est coloré en jaune orange en devenant plus fluide. On a obtenu 110 % d'un produit fondant mal et qui, après avoir été cristallisé dans l'acide acétique, a donné 85 % de cristaux jaune orange fondant encore mal vers 200° ; après purifications répétées au moyen de l'acide acétique, on a enfin obtenu le produit pur de F = 204°, en aiguilles orange. C'est la *p-nitrobenzoyl-mononitro-3-p-anisidine :*

OCH^3

NO^2

$N{<}^{H}_{C^7H^4O.NO^2.(p)}$

Cette combinaison n'est pas très soluble, même à chaud, dans l'alcool; elle est très soluble à chaud dans l'acide acétique et dans l'acétone, et elle fournit par nitration en solution acétique au moyen de HNO^3 de D = 1.52, à la température de 42°, le composé de F = 208° décrit dans l'essai suivant; c'est même la meilleure méthode de préparation de ce produit.

0.1444 gr. subst. ont donné 17 cc. N (18°; 715 mm.)
Soit trouvé N = 13.00 %
Calculé N = 13.25 % pour $C^{14}H^{11}O^6N^3$.

3° Avec HNO_3 de D = 1.52 et acide acétique. T. 70°.

Après la réaction, on a laissé refroidir la solution qui a déposé des cristaux feutrés jaune citron, avec un rendement de 70 % ; après une purification au moyen de l'acide acétique, ces cristaux fondent à 208° ; ils sont constitués par la *p-nitrobenzoyl-dinitro-2-3-p-anisidine :*

OCH^3

NO^2

NO^2

$N{<}^{H}_{C^7H^4O.NO^2(p)}$

Ce composé est soluble à chaud dans l'alcool pur et étendu, ainsi que dans l'acide acétique; il est très soluble à froid dans l'acétone.

0.1449 gr. subst. ont donné 20.4 cc. N (14°; 714 mm.)
Soit trouvé N = 15.73 %
Calculé N = 15.44 % pour $C^{14}H^{10}O^{8}N^{4}$.

Les eaux-mères acétonitriques renferment une petite quantité d'autres dérivés nitrés qui n'ont cependant pas été isolés à l'état pur et identifiés.

4° Avec HNO^{3} de D = 1.4 et acide acétique. T. 100°.

On a dû chauffer jusqu'à 100° pour obtenir une dissolution complète, et celle-ci a abandonné par le refroidissement 60 % de la *p-nitrobenzoyl-mononitro-3-p-anisidine* de F = 204° décrite ci-dessus; les eaux-mères acétonitriques renferment un mélange de produits secondaires plus nitrés, en même temps que du produit principal.

Dans un essai fait à une température inférieure, sans amener la dissolution, c'est-à-dire en chauffant jusqu'à 55° seulement, on a obtenu 85-90 % du composé de F = 204° et on a retiré des eaux-mères acétonitriques les dérivés de nitration plus avancée de F = 208° et 253°.

Il résulte des essais que nous venons de décrire que la nitration des trois dérivés nitrobenzoylés isomères de la p-anisidine donne lieu, d'une manière générale, à la formation de produits semblables, relativement à la position des groupes « nitro » dans le noyau; ce sont principalement les combinaisons qui correspondent à la nitro-3-p-anisidine, à la dinitro-2-3-p-anisidine et à la trinitro-2-3-6-p-anisidine.

Notons en passant que les dérivés mononitrés dans le noyau sont orange, les dinitrés jaune citron ou jaune pâle, et les trinitrés blancs.

Si maintenant, on compare ces essais de nitration avec ceux qui ont été faits, dans les mêmes conditions, avec la benzoyl-p-anisidine, on constate une seule différence importante. Avec les nitrobenzoyl-p-anisidines le dérivé trinitré dans le noyau se forme toujours directement, en quantité plus ou moins grande (25 à 70 % avant purification complète) dans l'attaque par

HNO^3 de D = 1.52, tandis qu'avec la benzoyl-p-anisidine il ne s'en forme, dans les mêmes conditions, qu'une quantité bien inférieure ; on est obligé pour préparer le dérivé trinitré dans le noyau, en partant de la benzoyl-p-anisidine, de faire la réaction en deux phases.

La présence d'un groupe « nitro » dans le résidu « benzoyle » favoriserait donc la nitration, soit parce que l'acide nitrique doit rester plus concentré, soit à cause de la plus grande acidité conférée à la molécule; mais la position du groupe « nitro » dans le résidu ne paraît pas avoir d'influence déterminée[1].

Enfin, au point de vue de la saponification sulfurique, j'ai fait les observations suivantes :

Tous les dérivés de l'o-nitrobenzoyl-p-ansidine sont facilement saponifiables par la méthode habituelle, c'est-à-dire en chauffant 1-1 $^1/_2$ heure au bain-marie leur solution dans l'acide sulfurique concentré.

L'o-nitrobenzoyl-mononitro-3-p-anisidine de F = 172° donne avec H^2SO^4 conc. une coloration caractéristique bleu-vert, passant ensuite au brun.

Les trois dérivés, isomères trinitrés dans le noyau, sont également facilement saponifiables par le même procédé.

Les dérivés mono- et dinitrés, dans le noyau, des m- et p-nitrobenzoyl-p-anisidines sont, en revanche, beaucoup moins facilement saponifiables. On a cependant réussi à les saponifier pour leur identification, soit en ajoutant de l'eau, goutte à goutte, à la solution sulfurique, soit en employant un mélange d'acide sulfurique et d'acide acétique auquel on ajoute également, peu à peu, de l'eau ; mais dans tous ces cas l'opération exige un temps assez long, jusqu'à 8 à 12 heures, et beaucoup de précaution

[1] J'ai décrit précédemment (*Arch. des Sc. phys. et nat.* 1909, t. XXVII, p. 394) avec le F = 194-195 et l'indication qu'il était en aiguilles jaune pâle, *pas très bien formées*, un produit auquel j'avais attribué, d'après l'analyse et le résultat de la saponification, la formule d'une *nitrobenzoyl-dinitro-2-3-p-anisidine*, sans indication toutefois de la position du groupe « nitro » dans le résidu « benzoyle ». Il résulte des recherches actuelles que ce composé devait être encore impur; c'était sans doute un mélange renfermant une certaine quantité de dérivé dinitré dans le noyau, et il doit être retranché de la littérature chimique. (Voir *Richter's Lexikon der C. Verbindungen*, 2e édit., p. 2710, ligne 8 en haut.)

dans l'addition d'eau, qui doit être faite avec ménagement, de manière à éviter un précipité anticipé dans la solution.

La position du groupe « nitro » dans le résidu « benzoyle » paraît donc avoir une influence, tout au moins sur la facilité plus ou moins grande de la saponification sulfurique.

Je rappellerai, à cette occasion, que des difficultés dans la saponification de certains dérivés obtenus dans la nitration de la benzoyl-p-anisidine, ont déjà été constatées précédemment[1], difficultés qui provenaient probablement de ce que le groupe « benzoyle » avait été nitré dans une position défavorable pour cette opération.

Je me propose de poursuivre ces recherches avec d'autres dérivés acylés à résidus plus ou moins acides.

Genève. — Laboratoire de Chimie organique de l'Université.

[1] *Arch. des Sc. phys. et nat.* 1909, t. XXVII, p. 401 et 1910, t. XXIX, p. 483.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AUX

FORTIFICATIONS DE SAINT-MAURICE

PENDANT LES MOIS DE

Mars, avril et mai 1911

(PRINTEMPS 1911)

OBSERVATIONS DIVERSES

Mars 1911

Brouillard. — *Brouillard pendant une partie de la journée :* le 26 à Savatan ; les 3, 4, 15 et 26 à l'Aiguille.

Neige sur le sol : du 14 au 15 et le 26 à Lavey : du 14 au 15 et du 26 au 28 à Savatan ; du 2 au 4, le 11, du 14 au 18 et du 25 au 28 à Dailly ; du 1 au 4, le 11, du 14 au 18 et du 25 au 28 à l'Aiguille.

Fœhn : les 19, 20, 21, 28 et 29 aux quatre stations.

Avril 1911

Brouillard. — *Brouillard pendant une partie de la journée :* les 9 et 20 à Dailly ; les 3, 4, 5, 6, 8 et 20 à l'Aiguille.

Neige sur le sol : les 4 et 6 à Lavey ; du 4 au 6 à Savatan ; du 4 au 8 à Dailly ; du 4 au 9 et le 13 à l'Aiguille.

Mai 1911

Brouillard. — *Brouillard pendant une partie de la journée :* le 18 à Savatan ; les 5, 14 et 17 à Dailly.

Neige sur le sol : le 1 à Dailly et à l'Aiguille.

MOIS DE MARS 1911

Jours du mois.	Baromètre Hauteur moyenne		Thermomètre Température moyenne		Hygromèt. Fraction de saturation moyenne		Nébulosité moyenne			Pluie et Neige (hauteur mesurée)							
										Lavey		Savatan		Dailly		Aiguille	
	Savatan	Dailly	Savatan	Dailly	Savatan	Dailly	Lavey	Savatan	Dailly	Pluie	Neige	Pluie	Neige	Pluie	Neige	Pluie	Neige
	mm.	mm.	0	0	%	%				mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.
1	707.2	660.1	+ 4.3	+ 1.9	81	72	5	10	9	4.0	....	5.0	...	12.1	11	13.2	12
2	**715.3**	**667.1**	1.7	- 1.6	76	82	5	3	8	20.0	....	20.0	....	23.7	16	26.4	24
3	711.2	663.3	1.8	+ 0.7	100	100	10	10	10	29.0	....	**35.0**	....	31.8	23	37.3	32
4	707.1	661.5	5.2	+ 3.9	90	82	7	9	8	....	....	...	....	....	....	....	....
5	703.2	656 5	3.7	- 0.9	75	94	6	10	10	....	....	....	....	....	....	....	....
6	699.3	653.4	2.0	- 1.1	63	69	0	1	1	....	....	....	....	...	....	....	....
7	700.4	653 9	3.2	+ 1.4	67	46	7	5	6	....	....	....	....	....	....	....	....
8	702.4	655.8	4.2	+ 0.4	59	60	6	6	3	....	....	....	....	....	....	....	....
9	703.4	656.2	2.9	- 0.3	64	74	2	1	4	....	....	....	....	...	....	....	....
10	705 7	658.2	1.8	- 1.9	91	100	9	10	10	1.8	....	2.2	....	0.5	1	2.2	3
11	702 9	656.4	3.1	+ 0.8	67	65	3	4	6	....	....	...	....	....	....	....	....
12	700.9	653 8	5.2	+ 0.8	47	31	1	2	0	....	....	...	....	....	....	....	....
13	**692.0**	646.5	+ 2.9	- 1.2	70	63	9	6	9	2.4	....	1.8	1	4.5	3	6.5	7
14	692 8	646 8	- 0.8	- 4.0	75	65	7	6	8	0 9	1	4.0	....	7.4	4	9.2	6
15	692.8	646.2	**- 2.4**	**- 5.5**	88	78	10	6	8	....	....	....	....	0.3	1	1.8	2
16	696.0	649.2	+ 0.3	- 3.7	64	72	9	3	9	....	....	...	....	0.2	....	0.4	....
17	699.3	652.2	2.7	- 1.2	50	19	3	1	5	....	....	....	....	....	....	....	....
18	700.4	654 1	4.4	- 0.2	46	59	6	3	5	....	....	2.6	....	....	....	....	....
19	698.9	653.4	8.6	+ 3.8	31	21	7	8	5	....	....	...	....	....	....	....	....
20	695.8	651 4	10.8	5.3	31	21	5	5	6	....	....	....	....	....	....	....	....
21	700.0	654.7	10.3	5.5	32	21	1	2	4	....	....	....	....	....	....	....	....
22	701.0	655.6	9.7	6.7	41	25	5	4	3	....	....	....	....	....	....	....	....
23	701.4	655.7	9.9	6.9	52	30	4	4	7	....	....	....	...	....	....	....	....
24	698.2	652 8	7.3	+ 4.7	79	77	7	7	5	19.8	....	22 4	....	20.1	2	19.4	6
25	692.1	**645.6**	+ 1.3	- 0.8	98	87	10	10	10	**31.0**	**16**	31.0	**25**	**40.1**	**28**	**37.9**	**30**
26	693.3	646.6	- 2.3	- 5 2	98	100	8	8	6	2.0	....	1.1	....	2.1	4	2.4	4
27	698.8	651.8	- 1.1	- 0.4	82	58	9	5	10	....	....	....	....	....	....	....	....
28	697.4	652.2	+10.9	+ 8.3	45	29	7	8	9	....	....	....	....	....	....	...	....
29	695.5	652.1	**15.4**	**10.9**	**25**	**13**	8	7	8	....	....	....	....	....	....	....	....
30	698 4	653 0	12.5	7.6	41	41	5	2	6	....	....	....	....	....	....	....	....
31	702.7	656.4	+10.8	+ 6.4	48	36	2	1	4	....	....	....	....	....	....	....	....
MOIS	700.20	653.96	+ 4.85	+ 1.55	64	59	5.9	5.4	6.5	110.9	17	128.1	26	145 8	93	156.7	126

MOYENNES DU MOIS DE MARS 1911

Pression atmosphérique.

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1re décade...	705.36	705.53	705.71	705.53	658.35	658.73	658.74	658 61
2me » ...	697.34	696 60	697.62	697.19	650.90	650.60	651.53	651.01
3me » ...	698.03	697.66	698 55	698.08	652 29	652.16	652.79	652.41
Mois..	700.17	699.86	700 56	700.20	653.80	653 77	654.30	653.96

Température.

	Savatan					
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	Minim. moyen	Maxim. moyen
	0	0	0	0	0	0
1re décade...	+ 1.30	+ 4.88	+ 3.05	+ 3.08	+ 0.4	+ 6.8
2e » ...	1.76	5.62	3.06	3.48	0.1	7.3
3e » ...	5.45	10.60	7.07	7.71	3.6	11.9
Mois..	2.92	7.15	4.48	4.85	1.5	8.8

	Dailly					
1re décade...	− 0.92	+ 1.90	− 0.24	+ 0.25	− 2.1	+ 3.3
2me » ...	− 2.24	1.28	− 0.53	− 0.50	− 3.4	3.3
3me » ...	+ 2.53	7.20	+ 4.08	+ 4.60	+ 0.7	8.3
Mois..	− 0.12	+ 3.58	+ 1.20	+ 1.55	− 1.6	5.0

Fraction de saturation en %

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade...	83	69	78	77	82	66	86	78
2me » ...	57	54	60	57	54	59	45	52
3me » ...	64	51	60	58	54	39	47	47
Mois..	68	58	66	64	63	54	59	59

Nébulosité.

	Lavey				Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade...	5.5	5.2	6.6	5.8	6.3	5 6	7.7	6.5	7.7	6.5	6.8	7.0
2me » ...	6.7	5.5	5.8	6.0	4.7	5.2	3.5	4.5	7.1	6.0	5.0	6.0
3me » ...	6.8	5.7	5.3	5.9	7.4	5.0	3.4	5.2	7.0	5.5	6.8	6.5
Mois..	6.4	5.5	5.9	5.9	6.2	5.2	4.8	5.4	7.3	6.0	6.2	6.5

MOIS D'AVRIL 1911

Jours du mois.	Baromètre Hauteur moyenne		Thermomètre Température moyenne		Hygromèt. Fraction de saturation moyenne		Nébulosité moyenne			Pluie et Neige (hauteur mesurée)							
	Savatan	Dailly	Savatan	Dailly	Savatan	Dailly	Lavey	Savatan	Dailly	Lavey Pluie	Lavey Neige	Savatan Pluie	Savatan Neige	Dailly Pluie	Dailly Neige	Aiguille Pluie	Aiguille Neige
	mm	mm.	o	o	%	%				mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.
1	703.4	657 7	+ 9.3	+ 5.5	65	56	4	6	5	....	....	....	....	....	....	....	....
2	700.7	655.2	8.7	5.3	86	85	8	8	9	6.0	....	7.8	....	9 2	....	5.7	....
3	696.8	651.0	+ 4.2	+ 1.2	91	92	10	10	10	6.0	**2**	12 5	**2**	**20.4**	**12**	**19.6**	**13**
4	692.5	646.4	- 1.5	- 5.9	66	100	9	9	9	....	....	....	....	0.3	1	1.6	1
5	**690.7**	**644.0**	- **2.5**	- **6.9**	76	100	10	10	10	2.0	1	1.0	1	3.6	2	6.1	7
6	697.3	649.5	- 1.7	- 5.1	79	97	6	9	6	....	....	....	....	0.4	1	1.4	2
7	698.2	651.5	+ 2.1	- 1.4	53	40	2	0	0	....	....	....	....	0.3	1	0.9	1
8	699.5	652.0	0.7	- 4 0	74	97	7	9	8	....	....	....	....	1.2	....	1.6	2
9	700.9	654.1	1.1	- 4.4	65	94	8	7	10	....	....	....	....	0.4	....	0.5	....
10	696.8	650.3	1.6	- 2.0	60	68	7	1	3	....	....	....	....	....	....	....	....
11	701.5	655.5	5.2	+ 1.6	54	39	0	1	2	....	....	....	....	....	....	....	....
12	705.0	658.2	6.9	3.2	52	32	0	0	1	....	....	....	....	....	....	....	....
13	704 4	657.0	5.9	1.6	47	45	4	5	7	....	....	....	....	....	....	....	....
14	706.1	659.0	5.1	0.7	47	37	0	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
15	708.5	661.4	8.3	2.8	44	41	0	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
16	706.2	660.7	11.4	5.9	**36**	24	0	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
17	704.8	658.6	10.6	7.6	46	29	0	1	2	....	....	....	....	....	....	....	....
18	702.8	657.4	13.9	9.4	40	24	0	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
19	700 6	655.2	11.3	7.7	53	31	10	9	8	1.6	....	....	....	3.8	....	3 2	....
20	707.3	660.8	5.5	1 7	**95**	100	10	10	10	1.2	....	1.5	....	6.6	....	8.1	....
21	**714.3**	**667.9**	10.9	6.9	56	62	0	1	0	....	....	....	....	....	....	....	....
22	712.5	667.2	12.5	10.7	51	30	0	1	0	....	....	....	....	....	....	....	....
23	708.7	663 4	**14.9**	**12.7**	37	**20**	3	2	1	....	....	....	....	....	....	....	....
24	705.1	659.3	13.9	10.1	45	33	6	3	5	....	....	....	....	....	....	....	....
25	703.0	657.9	12.7	10.1	60	53	2	2	4	1.0	....	1.6	....	1.6	....	2.5	....
26	703.4	657.5	10.9	7.5	88	71	10	6	8	4.0	....	4.5	....	5.5	....	4.8	....
27	702.9	656.3	8.9	6.3	75	48	8	10	10	2.0	....	2.7	....	2 1	....	2.3	....
28	701.5	656.0	8.5	4.9	56	68	6	7	8	....	....	....	....	0.2	....	1.7	....
29	697.4	652.3	6.0	3.9	92	81	10	7	10	**13.5**	....	**18.5**	....	15.7	....	12.6	....
30	695.8	651.4	+ 7.2	+ 3.8	65	69	2	5	7	2.0	....	2 1	....	4.2	1	5.4	2
Mois	702.29	656.16	+ 7.08	+ 3.38	62	59	4.8	4.6	5.1	39.3	3	52.2	3	75 5	18	78.0	28

MOYENNES DU MOIS D'AVRIL 1911

Pression atmosphérique.

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1re décade...	697.95	697 41	697.66	697.67	651.29	651.07	651.20	651.19
2me » ...	704.88	704.30	705.03	704.74	657.97	658.16	658.98	658.37
3me » ...	704.60	704.47	704.32	704.46	659.08	659.01	658.73	658.94
Mois..	702.48	702.06	702.34	702.29	656.11	656.08	656.30	656.16

Température.

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	Minim. moyen	Maxim. moyen
	Savatan					
	o	o	o	o	o	o
1re décade...	+ 0.58	+ 4.24	+ 1.84	+ 2.22	– 0.3	+ 5.2
2me » ...	4.72	11.96	8.52	8.40	+ 3.8	14.6
3me » ...	7.94	13.80	10.18	10.64	7.0	16.1
Mois..	4.41	10.00	6.85	7.08	3.4	12.0
	Dailly					
1re décade ...	– 2.87	– 0.32	– 2.11	– 1.77	– 3.8	+ 0.5
2me » ...	+ 2.21	+ 7.00	+ 3.48	+ 4.23	+ 1.0	9.6
3me » ...	5.67	9.69	7.70	7.69	3.7	11.7
Mois..	1.67	5.46	3.02	3 38	0.3	7.3

Fraction de saturation en %

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade...	80	61	73	71	90	80	79	83
2me » ...	61	46	47	51	45	35	40	40
3me » ...	72	56	59	62	63	45	52	53
Mois..	71	54	60	62	66	53	57	59

Nébulosité.

	Lavey				Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	7.1	8.3	6.1	7.2	7.5	7.1	6.0	6.9	7.5	7.7	5.9	7.0
2me » ...	2.4	2.4	2.4	2.4	2.8	2.7	2.0	2.5	2.9	3.3	2.6	2.9
3me » ...	5.2	5.2	3.8	4.7	5.8	5.1	2.7	4.5	5.2	5.1	5.5	5.3
Mois..	4.9	5.3	4.1	4.8	5.4	5.0	3.6	4.6	5.2	5.4	4.7	5.1

MOIS DE MAI 1911

Jours du mois	Baromètre Hauteur moyenne Savatan	Baromètre Hauteur moyenne Dailly	Thermomètre Température moyenne Savatan	Thermomètre Température moyenne Dailly	Hygromèt. Fraction de saturation moyenne Savatan	Hygromèt. Fraction de saturation moyenne Dailly	Nébulosité moyenne Lavey	Nébulosité moyenne Savatan	Nébulosité moyenne Dailly	Pluie et Neige (hauteur mesurée) Lavey Pluie	Lavey Neige	Savatan Pluie	Savatan Neige	Dailly Pluie	Dailly Neige	Aiguille Pluie	Aiguille Neige
	mm.	mm.	°	°	%	%				mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.
1	704.5	658.5	+ **7.1**	+ **2.3**	69	63	5	6	6	2.1	....	..	....	0 9	....	0.4	....
2	704.9	658.7	9.3	5.9	50	36	0	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
3	704.2	659.2	11.7	8.9	**45**	**27**	2	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
4	702.3	657.0	10.5	6.9	61	59	3	6	5	4.5	....	7.0	....	7.9	....	6.4	....
5	704.0	657.6	7.5	4.6	88	100	10	10	10	0.6	....	1.2	....	2.8	....	3.0	....
6	705.4	659 8	10.3	6.5	65	70	7	8	7	....	....	....	....	....	....	....	....
7	703.6	658.4	8.2	4.8	59	51	3	3	3	....	....	....	....	....	....	....	....
8	701 0	655.3	7.9	4.8	69	65	2	5	3	....	....	....	....	....	....	....	....
9	700.7	654.9	10.2	8.0	71	59	5	1	4	7.4	....	5.6	....	5.5	....	5.2	....
10	700.7	656.1	11.3	9.0	69	51	4	2	6	....	....	....	....	....	....	....	....
11	700.7	655.7	12.7	10.5	67	49	7	3	5	1.2	....	0 8	....	0.3	....	0.5	....
12	700.2	655.5	14 4	10.4	59	49	7	3	8	....	....	....	....	....	....	....	....
13	697.5	653.2	13.2	10.3	68	38	7	4	5	....	....	....	....	0.1	....	0 2	....
14	698.2	653.9	11.9	8.4	81	82	8	10	9	0.5	....	0.8	....	....	....	....	....
15	697.8	653.1	13.1	10.4	80	80	5	8	7	2.0	....	1.7	....	1.4	....	1.7	....
16	698.8	651.0	13.7	10.3	74	68	8	6	9	1.5	....	....	....	0.9	....	1.6	....
17	698.9	651 0	12.9	9.6	77	80	8	9	10	3.1	....	4.2	....	6.2	....	7.2	....
18	**696.8**	**652.1**	10.7	7.5	**99**	100	10	9	10	**11.5**	....	**14.8**	....	**27.8**	....	**26.5**	....
19	696.9	652.5	11.8	6.9	60	72	8	9	9	....	....	....	....	....	....	....	....
20	697.4	652.6	10.4	6.4	63	62	8	6	7	....	....	....	....	....	....	....	....
21	700.3	655 1	11.5	7.2	65	63	4	4	3	....	....	....	....	....	....	....	....
22	701.7	656.7	12.3	9.1	59	51	4	4	4	....	....	....	....	....	....	....	....
23	703.8	658 2	12.3	9.5	57	47	4	3	3	....	....	....	....	....	....	....	....
24	**707.3**	**661.5**	13.0	10.0	59	42	3	6	7	....	....	....	....	....	....	....	....
25	703.2	658.8	15.6	12.6	58	42	0	2	2	....	....	....	....	....	....	....	....
26	700.5	656.2	15.9	13.1	65	41	2	4	6	....	....	....	....	....	....	....	....
27	703.5	658.8	16.7	**13.5**	63	47	7	3	6	....	....	....	....	....	....	....	....
28	704.0	659.3	**19.1**	12.8	82	86	6	7	9	0.2	....	1.2	....	1.5	....	1 4	....
29	701.6	657.3	16.6	13.0	67	57	4	2	7	4.2	....	....	....	0.7	....	0.5	....
30	700.9	656 3	16.5	13.0	75	69	4	2	8	0.5	....	1 5	....	2.5	....	2.3	....
31	700.4	656.1	+15.6	11.9	80	84	8	6	6	0.6	....	1.4	....	2.9	....	2.5	....
Mois	701.35	656.31	+12.38	+ 8.98	68	61	5.3	4.9	6.0	39.9		40.2		61.4		59.4	

MOYENNES DU MOIS DE MAI 1911

Pression atmosphérique.

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1re décade...	703.17	702.77	703.42	703.12	657.64	657.49	657.52	657.55
2me » ...	698.49	698.18	698.32	698.33	653.79	653.61	653.58	653.66
3me » ...	702.80	702.00	702.64	702.48	657.65	657.51	657.87	657.68
Mois..	701.53	701.01	701.50	701.35	656.40	656.24	656.38	656.34

Température.

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	Minim. moyen	Maxim. moyen
	o	o	o	o	o	o
	Savatan					
1re décade...	+ 6.34	+12.44	+ 9.44	+ 9.41	+ 5.8	+14.7
2me » ...	10.68	14.70	12.04	12.47	9.4	17.6
3me » ...	11.27	18.15	15.62	15.01	10.7	20.3
Mois..	9.49	15.19	12.47	12.38	8.7	17.7
	Dailly					
1re décade...	+ 4.25	+ 8.34	+ 5.93	+ 6.17	+ 2.9	+ 9.8
2me » ...	7.79	10.91	8.50	9.07	6.6	12.6
3me » ...	9.52	13.67	11.21	11.47	8.3	15.3
Mois..	7.26	11.06	8.63	8.98	6.0	12.7

Fraction de saturation en %

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade...	76	53	66	65	66	48	62	59
2me » ...	80	65	73	73	71	60	73	68
3me » ...	81	54	65	67	63	53	56	57
Mois..	79	57	68	68	67	53	63	61

Nébulosité.

	Lavey				Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade...	4.4	4.1	4.1	4.2	3.1	5.3	4.1	4.2	4.0	5.5	4.2	4.6
2me » ...	7.3	7.3	8.0	7.5	6.0	7.2	7.0	6.7	8.3	8.5	6.5	7.8
3me » ...	4.5	4.5	3.3	4.1	3.9	4.9	3.2	4.0	6.1	6.7	3.7	5.5
Mois..	5.4	5.3	5.1	5.3	4.3	5.8	4.7	4.9	6.1	6.9	4.8	6.0

QUATRE-VINGT-QUATORZIÈME SESSION

DE LA

SOCIÉTÉ HELVÉTIQUE DES SCIENCES NATURELLES

Réunie à Soleure du 31 juillet au 2 août 1911

COMPTE RENDU DE LA SÉANCE

DE LA

SOCIÉTÉ SUISSE DE PHYSIQUE

du 1er août 1911

Président : M. le Dr P. CHAPPUIS (Bâle).
Secrétaire : M. le prof. H. VEILLON (Id.).

A. Rossel. L'influence de la lampe à incandescence électrique de 1 watt sur le développement de l'éclairage artificiel. — A. de Quervain. Communication sur l'installation du nouvel observatoire sismologique suisse. — O. Bloch. Sur le magnétisme des alliages nickel-cobalt. — F. Klingelfuss. Redresseur de courant alternatif avec dispositif maintenant le synchronisme. — Le même. Bobine d'induction avec induit réglable. — A. Kleiner. Sur les chaleurs spécifiques. — Le même. Sur l'observation de courants ouverts au moyen de l'électromètre. — P. Debye. Sur des écarts de la loi de Curie-Langevin et leurs relations avec la quantité d'action élémentaire. — R. Pictet. Un nouveau procédé pour obtenir l'oxygène à tous les degrés de pureté de l'air atmosphérique. — Th. Staub. L'enseignement de la physique aux aveugles. — F.-A. Forel. La fata morgana. — A. Piccard. Etat de régime d'une plaque tombant dans l'air libre. — H. Zickendrath. Sur le champ aérodynamique. — A. Perrier. Sur la susceptibilité des corps paramagnétiques aux très basses températures.

Dr Arnold ROSSEL. — *De l'influence de la lampe électrique à incandescence de un watt sur l'extension de la lumière et du courant électrique.*

Le problème du transport de la force motrice à grande distance au moyen du fil électrique était résolu. En 1890, entre Kriegstetten

et Biberist, dans le canton de Soleure, avait eu lieu le transport de 30 chevaux, à une distance de 15 kilomètres, fournis par une turbine hydraulique, au moyen de dynamos et de transformateurs électriques avec seulement 11,4 % de perte. En 1891, Brown, l'inventeur d'Oerlikon, arrivait à effectuer le transport de 200 chevaux hydrauliques de Laufen sur le Nekar à Francfort-sur-Mein, distants de 175 kilomètres, par le même système, avec un rendement de 73,9 %.

Dès lors, la lampe à incandescence à fils de charbon d'Edison, qui avait fait son entrée mystérieuse en Suisse, en 1883, lors de l'Exposition nationale de Zurich, prenait de l'extension ; comparée à la lumière du gaz, la lumière électrique fournie par « la poire Edison » n'était pas économique, mais tellement facile et propre à produire, qu'elle se répandait malgré son prix élevé.

Par bougie, la lumière électrique fournie par la lampe à incandescence exigeait 3 $^1/_2$ à 4 watts, ce qui revient à dire qu'une lampe électrique de 16 bougies exigeait une dépense équivalente à celle d'une lampe de gaz de 50 bougies.

Il s'agissait donc de trouver la lampe incandescente de 1 watt, c'est-à-dire une lampe à rendement 70 fois plus considérable que la lampe Edison, et c'est ce que cherchaient avec ardeur les techniciens, comme seul moyen de populariser l'emploi de l'électricité comme moyen d'éclairage.

Nous devons à Auer de Welbsbach, le même savant qui avait trouvé le manchon à incandescence du bec de gaz, d'avoir ouvert la voie et indiqué la marche à suivre.

Il fallait remplacer le fil de charbon de la lampe Edison par un fil métallique pouvant être soumis dans le vide à une température de 3000 degrés sans entrer en fusion et présentant une solidité suffisante. Auer avait expérimenté le platine, il fallut y renoncer, un mince fil de platine se volatilise à cette température ; il le remplaça par le fil d'*osmium*, métal qui se rencontre en faibles quantités dans les minerais de platine.

Une grande difficulté avait dû être surmontée ; l'osmium n'est pas assez ductile pour être étiré en fils ! Malgré cela, la lampe osmium « vit le jour », et sa brillante lumière économique faisait prévoir le succès de la lampe électrique. Remané, l'un des techniciens les plus distingués dans cette spécialité, de la Société Auer de Berlin, décrit la fabrication du fil d'osmium, dans les *Elektrische Nachrichten* de janvier 1908 [1].

Dix ans à peine nous séparent d'une époque de la technique électrique, que l'on peut déjà désigner comme le bon vieux temps.

[1] Nous faisons abstraction de la description pour le motif qu'il n'est réservé à cet article qu'une place limitée.

Avant 1900, époque de l'Exposition de Paris, on ne disposait que de deux systèmes de lumière électrique qui cherchaient à concourir avec d'autres méthodes propres à produire la lumière artificielle : d'un côté, les lampes à incandescence à fils de charbon de Edison ; de l'autre, les lampes à arc à électrodes à charbons purs.

Ce n'est que de 1900 à 1910 que le progrès se montra rapide et à l'Exposition de Bruxelles, en 1910, la lumière électrique triomphait définitivement. Déjà, en 1900, à Paris, apparaissaient les lampes à arc, dont les électrodes imprégnés de sels métalliques produisaient un effet lumineux inattendu qui atténuait l'effet produit par l'acétylène du carbure de calcium de Moissan. En 1892, c'était la lampe *osmium;* en 1902, la lampe *tantale;* en 1903, la lampe *Nernst*, et, en 1906, comme dernière étape, la lampe *Osram.*

L'avantage d'un système lumineux consiste dans la combinaison « de la puissance lumineuse » et du « rendement lumineux ». Le problème a été résolu par la lampe *Osram*, de la Société Auer, au moyen de l'ampoule dans laquelle le fil métallique osmium est remplacé par le fil métallique wolfram, d'où le nom de « *Osram* » (*os*, de osmium, *ram* de wolfram). Le nom indique l'origine et le progrès moderne.

Si l'on compare le rendement des différentes lampes qui se sont succédées, nous arrivons aux résultats suivants :

Lampe	Edison,	filaments de charbon,	3,5 à 4,5	watts	par bougie (HK)
»	Nernst,		1,8 à 2	»	»
»	tantale		1,5 à 1,7	»	»
»	osmium,		1,5	»	»
»	*Osram*,		1,0 à 1,2	»	»

La lampe Osram fabriquée pour la première fois avec les fils métalliques wolfram, par la Société Auer de Berlin, a donc résolu définitivement le problème de la lumière économique électrique et a popularisé ce système d'éclairage.

Le métal wolfram possède un point de fusion encore plus élevé que l'osmium, mais, comme celui-ci, il n'est pas malléable et pour l'utiliser à la fabrication du fil, on emploie la méthode indiquée par M. Remané dans l'exposé déjà mentionné. Quelques exemples suffisent pour faire comprendre la difficulté de l'opération, le génie et la persévérance qui ont dû être déployés pour arriver au but. Tandis que le fil de charbon d'une lampe Edison de 16 bougies possède un diamètre d'environ $^1/_{10}$ de millimètre, une lampe de 16 bougies Osram possède un fil de wolfram d'un diamètre de $^1/_{50}$ de millimètre, il est plus fin que le cheveu blond le plus subtil. En même temps, à cause de la plus grande conductibilité du métal, la longueur du fil d'une seule lampe ne comporte pas moins de un mètre de longueur à loger dans l'ampoule.

Il semblerait, dans ces conditions, qu'à l'apparition de la lampe Osram, celle-ci aurait, vu ses avantages, dû faire disparaître les lampes moins économiques. Abstraction faite des difficultés qui existent toujours pour remplacer ce qui existe, par quelque chose de nouveau, à moins que le besoin s'en fasse impérieusement sentir, il en existe d'autres qui enrayent un développement rapide. Ce sont la dépense et quelques imperfections de nature technique qui, pour chaque invention, sont inévitables.

C'est ainsi que la lampe Nernst ne pouvait être, au début, employée que pour le courant continu et pour de hautes tensions. La lampe osmium semblait prédestinée pour les basses tensions et pouvait être employée pour le courant alternatif, mais la lampe elle-même était trop coûteuse, à cause du prix élevé du métal osmium. La lampe tantale a été assez rapidement assimilée aux différentes tensions, mais pendant longtemps elle ne s'adaptait pas au courant alternatif.

La lampe Osram, de la Société Auer, a eu également, pendant les deux premières années de son existence, à surmonter des difficultés inévitables. Au début, on ne pouvait l'employer que dans une position perpendiculaire, tandis qu'aujourd'hui elle éclaire dans toutes les positions; la lampe de moindre intensité était de 50 bougies, actuellement on la construit en un nombre de calibres plus considérable que ceux de la lampe aux fils de charbon. Pour une tension électrique de 100 à 125 volts, on livre des lampes de 16, 20, 25, 32, 50 et 100 bougies, ainsi que des lampes à lumière intense jusqu'à 1000 bougies, *qui remplacent un peu partout la lampe à arc.* Le problème, très difficile à cause du diamètre du fil de la fabrication de lampes Osram pour les tensions de 220 à 250 volts, est également résolu à partir de 25 bougies. Tous les calibres n'exigent que 1,1 watt, tandis qu'à lumière égale, la lampe aux fils de charbon exige 70 % de plus d'énergie électrique, c'est-à-dire de 3 1/2 à 4 watts[1].

Quant à la solidité de la lampe, elle est suffisamment établie pour la rendre populaire, comme cela a été officiellement reconnu à l'exposition d'électricité actuelle de Munich, par des expériences concluantes. Cependant, pour le résultat définitif, c'est l'emploi dans la pratique qui décide. J'ai à ma disposition le résultat d'une enquête qui a eu lieu dans 384 localités avec 33.643 lampes Osram pour l'éclairage des rues, d'une puissance lumineuse de

[1] Pour le prix moyen du courant de 50 cent. pour le kilowatt-heure payé pour la lumière, on actionne 17 lampes de 16 bougies aux filaments de charbon, contre *55 lampes* de 16 bougies Osram. La lampe de 16 bougies aux filaments de charbon coûte dans ces conditions par heure 3 centimes, la lampe Osram 0,9 centimes.

1.640.000 bougies; le résultat relatif à la solidité a été trouvé excellent. Pour l'éclairage des rues, on emploie 60 % de lampes de 50 bougies, et il est à remarquer qu'elles remplacent les lampes de 16 bougies au fil de charbon, de sorte que ce n'est pas l'économie de courant que l'on veut obtenir, mais, pour le même prix, une lumière 3 fois plus intense.

Ce fait a une valeur considérable, internationale, au point de vue de l'emploi du courant électrique. On remplace actuellement la lumière des rues au gaz, par la lumière osram, comme en a donné l'exemple le grand et beau faubourg de Londres, Hampstead. Les rues possèdent 4.400 lampes Osram, deux lampes de 32 bougies par candélabre, qui sont les mêmes que ceux qui avaient été installés pour le gaz. Ce système est très avantageux, il permet d'éteindre après minuit la moitié des lampes, sans que la rue devienne sombre, l'intensité lumineuse diminuant avec le carré de la distance. J'ai eu l'occasion d'être renseigné directement du résultat de l'emploi de lampes Osram dans les mines de houille les plus conséquentes de la Silésie (Græfin, Laura-Grube). Ce fait m'a particulièrement intéressé, parce qu'il semble que, dans ces circonstances, l'économie du courant ne joue pas un rôle important, vu son bon marché : le kilo-watt ne revient qu'à 5 centimes par heure. La direction des mines a constaté une durée moyenne de 1.700 heures pour les lampes Osram et des durées de 3.000 à 4.000 heures pour les lampes de 100 bougies.

Il est donc établi que la plus grande sensibilité de la lampe Osram, comparée à la lampe aux fils de charbon, n'est plus un obstacle à son emploi général.

Nous considérons le progrès constaté par le succès de la lampe Osram comme un fait considérable. Grâce au prix réduit de la lumière électrique, les usines électriques sont à même de transporter la force à de très grandes distances, jusque dans les habitations les plus éloignées, tout en réalisant encore un bénéfice suffisant; ce fait permet de livrer l'énergie à toutes espèces de moteurs, c'est-à-dire d'utiliser le courant de jour et de nuit, ce qui ne signifie rien moins que le triomphe définitif de l'électricité sur tout autre moyen de se procurer en même temps la force et la lumière.

Le Dr Alfred de Quervain (Zurich) fait la *description des appareils de l'Institut sismologique suisse de Zurich.*

Un pendule vertical de Wiechert a été installé selon les trois composantes du mouvement terrestre. Le pendule, construit par MM. Spindler et Hoyer, possède une masse de 90 kg. suspendue à un ressort à boudin. En plus, selon les composantes N.-S. et E.-O., le grand pendule horizontal de Mainthen, construit par Bosch, avec une masse de 500 kg.

L'amplification, pour les deux instruments, fut ramenée provisoirement à 150 environ ; la période de l'oscillation propre à 5 secondes seulement, en tenant compte de la période très courte des oscillations suivant la principale.

Un pendule à mercure de Rosat, qui est régulièrement réglé avec l'observatoire, donne les minutes.

L'auteur présente quelques diagrammes démontrant le bon fonctionnement des appareils et donnant très nettement les courbes des oscillations du sol.

O. Bloch. *Sur le magnétisme des alliages de nickel et de cobalt.*

Comme le travail paraîtra entièrement dans un des prochains numéros des *Archives*, nous nous bornons à en donner ici les résultats, et nous renvoyons le lecteur à cette publication.

Ces résultats sont les suivants :

1) Les alliages de nickel et de cobalt se comportent magnétiquement comme une simple série de solutions solides.

La variation des moments magnétiques à saturation absolue est linéaire en fonction du pourcentage.

2) La constante de Curie aussi bien que celle du champ moléculaire varient linéairement en fonction de la même variable.

3) La température de la perte de l'aimantation spontanée varie d'après une loi parabolique.

4) L'existence d'une partie aliquote commune aux moments magnétiques des molécules-gramme des éléments chimiques est vérifiée aussi bien que la valeur du magnéton-gramme donnée jusqu'ici par M. Weiss.

5) Enfin le cobalt, pour lequel les expériences antérieures n'étaient pas suffisantes, s'accorde tout à fait avec la théorie du magnéton.

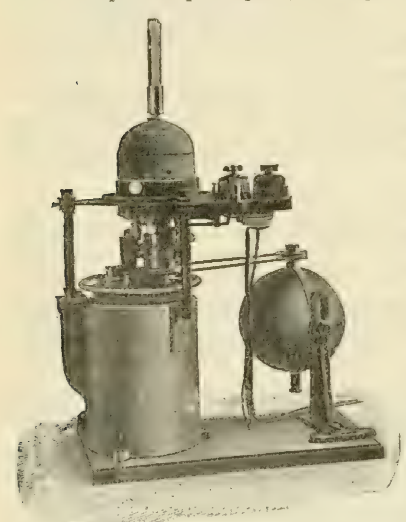
F. Klingelfuss (Bâle). *Appareil servant à renverser une des phases d'un courant alternatif muni d'un dispositif maintenant le synchronisme.*

Lorsqu'un interrupteur marche synchroniquement avec la période d'un courant alternatif, et lorsque l'interrupteur n'ouvre et ne ferme qu'une fois le courant en temps voulu pour chaque période du courant alternatif, on obtient, dans l'inducteur et par conséquent dans le tube de Röntgen, une décharge se faisant toujours dans le même sens. Un dispositif de ce genre ne travaillerait pas d'une manière rationnelle, puisque l'une des phases du courant alternatif est complètement laissée de côté.

Si l'on joint à l'interrupteur marchant en synchronisme avec le courant alternatif un commutateur, on peut utiliser les deux phases du courant alternatif et le rendement de l'interrupteur

peut en être doublé. L'*Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft* construit des appareils du premier modèle. Les appareils pour lesquels le courant alternatif à haute tension est commuté sont, en principe, analogues au second modèle ; ils nécessitent cependant un commutateur de grandes dimensions, afin de séparer complètement la décharge à haute tension. Si au lieu de commuter le courant alternatif à haute tension on commute le courant alternatif à basse tension, on peut réduire beaucoup les dimensions du commutateur, sans craindre de décharge.

Le disjoncteur de courant alternatif, présenté par l'auteur, est une combinaison d'un interrupteur de courant continu, pour lequel le courant est interrompu sans étincelles par un jet de pétrole avec un commutateur fixé sur son axe de rotation. Les deux appareils sont ainsi placés l'un par rapport à l'autre, que, aussitôt après le passage de la courbe du courant alternatif par O, le courant passe à travers le commutateur pour aller à l'interrupteur. La durée de contact dans l'interrupteur, comporte un quart de la période du courant alternatif ; les contacts du commutateur sont un peu plus longs. Par conséquent, le jet de pétrole interrompt le courant dans l'interrupteur, et les contacts du commutateur se séparent peu après, sans qu'il y passe de courant.



Le résultat de cette combinaison est donc un renversement sans étincelles du courant alternatif, même pour une décharge très élevée.

Pour éviter la difficulté de la mise en marche d'un moteur synchrone, le disjoncteur de courant alternatif est actionné par un moteur à courant alternatif asynchrone, réglé de telle sorte que l'axe de l'interrupteur est un peu en avance sur le synchronisme. Un ancre à deux pôles est couplé directement avec l'axe de l'interrupteur ; il tourne dans le champ de deux électroaimants dont l'enroulement est fermé sur lui-même. Comme l'ancre fait varier la polarité pour chaque demi-tour, il se trouve que c'est toujours le même pôle de l'ancre qui fait face à chacun des pôles de l'électroaimant, et que le champ, de cette façon, est continu. L'ancre tourne, par consé-

quent, dans un champ à courant continu et joue le rôle d'un dispositif maintenant le synchronisme, en ce sens qu'il retient lorsque la vitesse est un peu trop grande, et qu'il actionne lorsqu'elle est trop faible.

Le champ magnétique est réglé de façon à pouvoir tourner autour de l'ancre ; l'on peut, par là, chercher pendant la marche la portion du courant alternatif appropriée à l'interruption. En effet, tandis que les balais restent fixes, on peut, en faisant tourner la direction du champ magnétique et en même temps le contact relié à l'interrupteur, régler la fermeture du courant avec plus ou moins d'avance.

Il est facile, avec ce dispositif, d'amener l'interrupteur à une marche synchrone ; la portion la plus appropriée de la courbe du courant alternatif est facile à déterminer, sans autres, en faisant tourner le champ directeur, et l'interruption se fait sans étincelle pour toutes les charges. La commutation se fait sans la présence d'aucun courant.

Le disjoncteur de courant alternatif relié à l'interrupteur de courant continu peut être employé avec tout inducteur actionné par un courant alternatif. Il peut rendre de grands services, soit pour des épreuves instantanées, soit pour des poses, et est très spécialement utile en thérapie, car il ménage beaucoup les tubes de Röntgen. Le fonctionnement des tubes de Röntgen avec cet interrupteur est absolument exempt de toute lueur de fermeture. On peut étalonner le scléromètre pour cet interrupteur comme pour un interrupteur de courants continus.

F. Klingelfuss. *Bobine d'induction avec induit variable.*

On exige souvent des inducteurs de faibles potentiels mais des courants puissants, parce que des accumulateurs seraient trop coûteux et demanderaient trop d'entretien pour des courants de quelques dizaines de mille volts.

Le courant continu livré par un inducteur n'est pas équivalent à celui d'un accumulateur, mais il lui est d'autant plus analogue si les pulsations sont moins écartées les unes des autres, et si l'on peut éviter autant que possible qu'il se forme des courants de sens inverse (courants que l'on désigne, en général, bien que cela ne soit pas toujours exact, comme étincelle de fermeture).

On a reconnu que des oscillations harmoniques, pour lesquelles des courants de sens contraire provenant de l'induction de fermeture ou d'autres causes ne se forment pas, se produisent d'autant plus facilement que la bobine secondaire peut être mise en résonance avec le circuit dans lequel se forment les oscillations.

Pour pouvoir régler la bobine secondaire plus exactement qu'on ne peut généralement le faire, l'auteur a construit une bobine

secondaire dont l'enroulement peut être changé à volonté, et de 1000 en 1000 tours jusqu'à 15,000 tours. Il n'aurait pas suffit pour cela, comme c'est le cas pour les transformateurs de courants alternatifs, de relier des dérivations de la bobine secondaire avec les enroulements correspondants, mais il est nécessaire de séparer complètement du primaire, c'est-à-dire du champ de force, les enroulements qu'on n'utilise pas, et cela à cause de l'entrée en vibration et de l'effet ionisant de l'inducteur. Dans ce but, l'auteur construisit quatre bobines mobiles avec 1, 2, 4, 8 mille tours, réglables à volonté, de telle sorte que l'on peut relier de 1000 en 1000 tours, jusqu'au maximum. Pour relier les enroulements entre eux et avec le pôle de décharge, on opère simplement en réglant convenablement les bobines partielles entre elles. On arrive quelquefois, au cours du réglage, à faire les observations les plus discordantes ; il se trouve par exemple, dans certains cas, qu'un nombre supérieur de tours du secondaire donne une meilleure résonance d'un tube dont la pression est plus élevée que le nombre de tours qui va bien à un tube de moindre pression.

La bobine primaire de cet inducteur est faite pour pouvoir y relier un plus ou moins grand nombre de tours.

Le condensateur, également, est disposé de façon à pouvoir être réglé. Tous les types d'interrupteurs peuvent servir. Mais s'il s'agit d'une marche très régulière, l'interrupteur mécanique s'est montré de beaucoup préférable. Pour charger des capacités, on peut se servir également d'interrupteurs électrolytiques ; ils se mettent en résonance sans qu'il soit besoin d'un réglage soigneux.

Prof. A. Kleiner (Zurich). *Sur la dilatation et la chaleur spécifique de quelques éléments.*

Les relations qui existent entre le coefficient de dilatation, la chaleur spécifique, le point de fusion et la chaleur de fusion d'une part et le poids atomique et le volume atomique d'autre part, ont rendu désirable une extension de nos connaissances dans le domaine des métaux alcalins et ont engagé Aug. Thum à faire ses recherches sur les chaleurs spécifiques de Li et de Na, ainsi que sur la dilatation et la chaleur de fusion du lithium, et Elsa Deuss sur la dilatation, la chaleur de fusion et la chaleur spécifique du rubidium. Les résultats de ces mesures permettent de reconnaître pour la série des métaux alcalins l'augmentation du coefficient de dilatation avec le poids atomique et la diminution de la chaleur de fùsion et du point de fusion lorsque le poids atomique augmente, comme on peut s'en rendre compte d'après le tableau suivant, où a désigne le poids atomique, T le point de fusion, s la chaleur spécifique, α le coefficient de dilatation cubique, S la chaleur de fusion :

	a	T	s	α	S
Li	7.03	180	0.59	0.0001801	32.81
Na	23.05	97.6	0.973	0.0002163	17.75
K	39.15	62.8	0.875	0.0002498	13.61
Rb	85.4	38.5	1.522	0.0002686	6.1
C_5C_3	133.0	26.5	2.4	0.0003948	—

Thum a démontré pour le Na et le Li une forte augmentation de la chaleur spécifique avec la température, conformément à la règle d'après laquelle l'augmentation est d'autant plus grande que le poids atomique est plus petit. E. Deuss a démontré pour le Cd la particularité que la chaleur spécifique demeure presque constante de —50° jusqu'à +100°. tandis qu'au-dessus et au-dessous de ces limites, elle augmente beaucoup avec la température. Comme on a constaté un point de rebroussement dans la marche de la chaleur spécifique de beaucoup d'autres éléments, il ne semble pas que quelques corps aient une manière spéciale de se comporter, mais bien qu'il y ait une règle uniforme, conforme aux théories déjà si souvent discutées des chaleurs spécifiques.

Prof. A. Kleiner. *Sur l'observation de courants ouverts au moyen de l'électromètre.*

L'auteur expose que l'on peut augmenter la sensibilité de l'électromètre à quadrant jusqu'à $^1/_{50\,000}$ de volt, et que l'on réussit sans difficulté à démontrer le renversement de l'action de la boussole des tangentes, c'est-à-dire la présence d'une force électrique perpendiculaire au plan d'un anneau de fer dans lequel l'aimantation apparaît ou disparaît; l'on peut encore démontrer une force électrique dans l'axe d'une bobine de fer lorsque celle-ci est aimantée ou désaimantée de même qu'inversement on constate une force magnétique dans l'axe d'une bobine à travers laquelle passe un courant.

P. Debye (Zurich). *Sur les écarts de la loi de Curie-Langevin et leurs relations avec l'hypothèse.*

La loi de Curie-Langevin dit, comme on le sait, que la susceptibilité χ de corps paramagnétiques est inversement proportionnelle à la température absolue T.

Cette loi fut expérimentée et reconnue exacte pour un intervalle de température supérieur à $T = 273$ par Curie pour O_2 par exemple; Langevin chercha et trouva la cause de cette régularité en partant des règles de la mécanique statique.

Récemment, de nouvelles mesures de χ ont été entreprises par

Kamerling-Onnes et Perrier dans le laboratoire de Leyde, dans l'intention de vérifier la loi pour des températures très basses.

Ils reconnurent d'abord pour O, puis également pour d'autres corps (Dy_2O_3; $FeSO_4$), que la susceptibilité χ augmente sans exception, pour de basses températures, plus lentement qu'inversement à T. Pour un petit intervalle de température, il fut possible de mesurer l'augmentation, par exemple au moyen de la puissance $T^{-1/2}$. Tout récemment les expériences dont M. Perrier va rendre compte ici même ont donné pour χ un maximum puis un retour vers des valeurs plus petites lorsque la température diminue. En dehors de cette relation entre χ et T, il est important de constater que, dans le laboratoire de Leyde, on a cherché la non-proportionalité éventuelle entre la force magnétisante du champ H, et le moment magnétique M. Il n'y avait aucune raison pour douter de la proportionalité entre M et H.

La contradiction entre les expériences dont il vient d'être fait mention et la théorie de Langevin est encore plus frappante si l'on pense que la loi de Curie-Langevin n'a pas été établie par son auteur en appliquant seulement les principes de la mécanique statique, mais qu'elle fut déduite également des considérations purement thermodynamiques.

En appliquant ces considérations, l'on peut se demander ce que l'on pourrait encore modifier dans le cadre de la théorie pour la faire concorder avec les expériences. On trouve un moyen si l'on admet que l'énergie calorifique V des corps n'est pas indépendante de la force extérieure du champ et que $\partial U/\partial H$ doit avoir une valeur négative. Les observations sur la relation entre χ et T donnent un moyen de calculer la valeur de $\partial U/\partial H$. Cette dernière se trouve être si petite que même dans des champs très forts, la variation de l'énergie qui s'y rapporte est très petite en comparaison de la chaleur spécifique. Cependant, la présence d'une valeur finie de $\partial U/\partial H$ est très remarquable et ne peut être mise en parallèle, dans la théorie statique, qu'avec la relation qui existe pour une oscillation entre son énergie calorifique et le nombre de ses oscillations, comme le veut la théorie de Planck sur l'hypothèse des quanta élémentaires.

On est conduit par là à appliquer cette hypothèse à notre cas. Si pour l'état correspondant d'une substance, il se trouve un quantum indivisible d'énergie ε, on sait que la répartition de l'énergie est considérée comme ayant lieu de la manière suivante : ce n'est pas chaque molécule qui possède une énergie finie qui varie d'une façon continue d'une molécule à l'autre, mais, parmi N molécules, il s'en trouve $N(1-e^{-\varepsilon/kT})$ [1] qui possèdent l'énergie O; il s'en

[1] K est la constante universelle de la loi de probabilité de Boltzmann; elle a la valeur 1.35×10^{-16} *erg/degré.*

trouve $N(1-e^{-\varepsilon/kT})e^{-\varepsilon/kT}$ qui possèdent l'énergie ε; il s'en trouve $N(1-e^{-\varepsilon/kT})e^{-2\varepsilon/kT}$ qui possèdent l'énergie 2ε, etc.

Au total, par conséquent, il y a $N(1-e^{-\varepsilon/kT})$ molécules qui ne possèdent pas d'énergie, pendant que $Ne^{-\varepsilon/kT}$ molécules prennent part au mouvement de la chaleur. Si l'on fait l'hypothèse que les $Ne^{-\varepsilon/kT}$ molécules qui sont exclues du mouvement de la chaleur, ne sont pas non plus susceptibles de subir l'influence d'un champ extérieur, un corps se composerait alors à la température T, non pas de N, mais apparemment seulement de $Ne^{-\varepsilon/kT}$ magnétons mobiles.

On obtient, par conséquent, à la place de la loi de Curie :

$$\chi = \frac{C}{T},$$

la loi :

$$\chi = \frac{C}{T} e^{-\frac{\varepsilon}{kt}}$$

Cette dernière forme de la loi, rend compte, qualitativement au moins, des résultats expérimentaux lorsque ε est constant. La susceptibilité χ augmente plus lentement que T^{-1} ; elle atteint un maximum, lorsque $T = \varepsilon/k$, et diminue ensuite pour atteindre la valeur limite *o* pour T = *o*.

Il me paraît peu probable que ε se maintienne constant pour un grand intervalle de température. De considérations théoriques il semble découler que ε doit augmenter lorsque la température diminue. Il pourrait même se faire que lors du passage de l'état gazeux à l'état liquide, ε varie d'une façon discontinue en occasionnant en même temps une discontinuité dans la valeur de χ.

De nouvelles expériences auront à démontrer si cette théorie très grossière est exacte aussi dans les détails. Il paraît certain cependant que, dans ce domaine également, l'hypothèse des quanta sera appelée à servir de base à la théorie.

M. Raoul Pictet expose un *nouveau procédé pour l'obtention de l'oxygène de l'air atmosphérique.*

Jusqu'à ce jour, on ne connaissait qu'un procédé pratique : liquéfier l'air atmosphérique et le rectifier après sa liquéfaction en séparant ainsi les deux gaz, oxygène et azote.

Ce procédé présente le grand inconvénient de perdre systématiquement le 33 % de l'oxygène contenu dans l'air que l'on comprime.

En effet, les gaz sortant de la colonne de rectification contiennent le 7 ½ % en oxygène et 92 ½ % d'azote.

Or, à l'entrée, cette même quantité d'azote contient 21 % d'oxygène, d'où la perte totale de 33 % d'oxygène après la rectification.

De plus, le nombre des plateaux de la colonne doit être fort grand pour assurer la conservation des 13,5 % d'oxygène, résultat de l'opération.

On doit donc traiter un volume d'air plus grand que le volume théorique contenant l'oxygène emmagasiné, résultat de l'opération.

Le nouveau procédé est caractérisé par les points suivants :

1° Le procédé repose sur la dissolution de l'oxygène gazeux de l'air atmosphérique dans de l'*azote liquide;*

2° L'air atmosphérique est envoyé dans une colonne à plateaux dont tous les plateaux sont pleins d'azote liquide;

3° Les gaz qui se dégagent du haut de la colonne sont de l'azote pur;

4° Ce procédé entraîne la fourniture d'une certaine quantité de chaleur sur chaque plateau. Pour cela, un serpentin se déroule dans chaque plateau, et ce même serpentin, partant du bas de la colonne, monte jusqu'au haut du plateau supérieur.

Un compresseur exprime l'azote pur qui se dégage de la colonne et comprime environ le quart du volume sortant à une pression inférieure à 6 atmosphères. C'est cet azote comprimé qui, refroidi au préalable par un échangeur, se liquéfie dans le serpentin et s'échappe au haut de la colonne dans le plateau supérieur;

5° Selon la pression de liquéfaction et uniquement par la chaîne de cette pression réglée par la vanne d'écoulement de l'azote liquide, on règle la *qualité* et la pureté de l'oxygène qui se recueille au bas de la colonne, au-dessus du premier plateau ;

6° Cette disposition réclame un cycle d'opérations par lequel l'oxygène est obtenu *avec le moindre effort*, donc avec la plus petite dépense ;

7° On ne doit dessécher et purifier que la quantité d'air nécessaire à la production voulue d'oxygène;

8° L'appareil est fortement réduit et supprime tous les appareils correspondants employés jusqu'ici pour obtenir l'azote pur;

9° On compense les pertes, dues au rayonnement et à la conductibilité, par une certaine quantité d'azote liquide tirée du haut de la colonne à rectifier à l'état gazeux par liquéfaction;

10° L'appareil en pleine marche donne toutes les qualités d'oxygène industriel et sans choc, fournit instantanément l'oxygène à tous les degrés de pureté compris entre 100 % et 27 %, les plus faibles utilisables.

M. Th. Staub, conservateur du Musée suisse des aveugles, à Zurich, fait une communication très intéressante *sur l'enseignement de la physique aux aveugles.*

Cet exposé très développé, accompagné de la présentation d'une partie du matériel d'enseignement, figures en relief représentant les appareils les plus usuels en physique et autres, ne se prête pas à une brève analyse ici et nous renvoyons le lecteur au texte allemand original de l'auteur, qui paraîtra *in extenso* dans les *Actes de la Société helvétique des Sciences naturelles*.

M. F.-A. Forel, de Morges, expose ses nouvelles recherches sur la *fata morgana*, réfractions anormales à la surface des nappes d'eau. La fata morgana apparaît sur le lac dans les chaudes journées du printemps, au lieu où se fait la transformation des réfractions normales d'un type à l'autre; ces réfractions normales sont : celles du matin où l'air est plus froid que l'eau (réfractions sur eau chaude), dans lesquelles l'horizon du lac est abaissé au-dessous de sa hauteur normale, et celles de l'après-midi, où l'air est plus chaud que l'eau (réfractions sur eau froide), dans lesquelles l'horizon du lac est surélevé. Ces dernières envahissant progressivement le tableau formé par la côte opposée qui offrait jusqu'alors le type des réfractions de la matinée, la fata morgana doit se déplacer de la partie occupée par les réfractions sur eau froide vers la partie occupée par les réfractions sur eau chaude.

C'est bien ce que l'observation en nature a montré.

Auguste Piccard. *Etat de régime d'une plaque pendant sa chute dans l'air.*

Le but de cette petite communication est de vous montrer un cas frappant dans lequel un corps abandonné à lui-même dans une position d'équilibre n'arrive pas à s'y maintenir, quoique la position soit ce que l'on nomme d'équilibre stable (minimum de potentiel).

Considérons un bout de papier rectangulaire ou une carte de visite que nous laissons tomber dans l'espace atmosphérique, le côté long étant horizontal. Outre la translation, ce rectangle est capable d'effectuer des mouvements de rotation. Nous ne prendrons ici en considération que les mouvements autour de l'axe de symétrie horizontal et, pour fixer les idées, nous plaçons cet axe dans la direction des rayons visuels de l'observateur. Pour ne pas charger ce texte par des figures, ayons recours au cadran de l'horloge, dont les chiffres I à XII définissent toutes les positions de la plaque.

Nous voyons tout de suite qu'il y a deux positions d'équilibre (par raison de symétrie) dans lesquelles nous pouvons lâcher la plaque. C'est la position verticale XII et la position horizontale III. Mais en XII nous avons évidemment équilibre labile, puisqu'il suffit d'un petit écart, p. ex. dans la direction I, pour qu'il y ait

une pression plus grande à droite qu'à gauche. La résultante de cette pression ne passe pas, comme l'on sait, par le milieu du rectangle, mais au-dessous (en avant). Elle produit donc (avec la force d'inertie) un couple dans le sens du mouvement de l'aiguille de la montre, tendant à amener la plaque dans la position III. Cette position horizontale est donc en équilibre stable. La plaque est capable d'effectuer des oscillations autour de cette position, la pression de l'air la ramenant toujours dans cette position et l'inertie lui faisant dépasser celle-ci comme si c'était un pendule.

La question de l'équilibre stable étant fixée, il ne nous reste plus qu'à examiner si les amplitudes des oscillations autour de cette position III ont une tendance à diminuer ou à augmenter. Considérons une période entière dont l'amplitude est relativement petite, p. ex. III, IV, III, II, III. La résistance qu'éprouve la plaque dans sa chute a ses maxima en III et ses minima en IV et II. Grâce à l'inertie, la translation a ses maxima plus tard donc entre IV et III et entre II et III, et ses minima entre III et IV et entre III et II. La vitesse de translation moyenne est donc plus grande dans les intervalles IV, III et II, III que dans III, IV et III, II. Il s'en suit que le couple dont nous avons parlé et qui toujours tend à ramener la plaque dans la position III est plus grand, donc fournit un travail absolu plus grand dans les périodes où la plaque se rapproche de III que quand elle s'en écarte. Mais le travail du couple est positif dans le premier cas et négatif dans le second. Le travail positif étant plus grand que le travail négatif, l'énergie de l'oscillation considérée augmente, donc les amplitudes augmentent jusqu'à ce que la position XII ou la position VI soit atteinte et dépassée. Mettons que la position VI soit dépassée, alors la plaque tourne dans le sens de l'aiguille de la montre. La résistance de translation a maintenant ses minima très prononcés en VI et en XII. Il en résulte que la vitesse moyenne de translation est beaucoup plus grande entre VI et IX et entre XII et III que pendant les deux autres quarts. La vitesse de rotation a donc tout lieu d'augmenter jusqu'à une limite, évidemment, qui sera déterminée par la résistance que l'air oppose à toute rotation et qui augmente rapidement avec le nombre de tours. Cette résistance, nous la nommons amortissement. Grâce à cet amortissement, notre plaque tombante atteint assez vite un état de régime. Comme on voit, elle tombe le long d'une ligne inclinée de droite à gauche, ce qui nous montre de nouveau que les pressions sont les plus fortes pendant les quarts XII à III et VI à IX, puisque le vol plané à gauche l'emporte sur le vol plané à droite.

L'on pourrait traiter d'une façon toute semblable les aéroplanes dits autostables. Pour de faibles oscillations, l'amortissement est souvent plus grand que le couple qui fait augmenter les amplitudes. Cela peut déjà s'observer avec certains bouts de papier mince

que l'on lâche dans une position bien horizontale. La condition pratique de l'autostabilité d'une machine à voler est donc que les oscillations s'amortissent, et cela non seulement pour une amplitude initiale faible, mais pour n'importe quelle amplitude.

H. Zickendraht. *Sur le champ aérodynamique.*

On entend par champ aérodynamique d'un corps entouré par un courant d'air l'ensemble des lignes de pression et de courant dans le voisinage de ce corps. Le champ aérodynamique s'étend, par conséquent, depuis la surface du corps jusqu'à l'infini dans toutes les directions.

On fixe sa valeur en déterminant la direction du courant pour chaque point et en mesurant la pression inférieure et supérieure à chaque point du voisinage du corps en question.

1° *Détermination de la direction du courant* (lignes de courant). Les belles expériences d'Ahlborn sur l'eau ont été répétées pour l'air par Mach, Wellner et Marey, Riabonchinsky, Eiffel, Lafay et l'auteur. On détermine la direction des lignes de courant, soit au moyen d'épreuves instantanées par la méthode de Tœpler (Mach, Lafay et l'auteur), soit par l'emploi de fils de fumée (Wellner, Marey et Coanda), soit enfin en considérant la direction que prennent dans le courant d'air des fils de soie fins (Eiffel) ou en appliquant une méthode de figures formées au moyen de grains de poussière (Riabonchinsky). On arrive ainsi à démontrer qu'il ne se produit pas de tourbillons devant une plaque contre laquelle vient frapper un courant d'air, mais que derrière celle-ci on constate une répartition très caractéristique de courants tourbillonnants. L'auteur a eu l'idée d'étudier au moyen du cinématographe la formation d'enroulement et la formation à nouveau des tourbillons, et a réuni une série de photographies instantanées [1].

2° *Détermination de la répartition de la pression* dans le champ aérodynamique. Beaucoup d'auteurs et tout spécialement A. Lafay ont étudié au moyen du manomètre les pressions à la surface d'un corps soumis à un courant d'air. L'auteur ne réussit à mesurer manométriquement l'espace tout entier qu'après avoir construit un nouvel instrument de mesure, la *sonde manométrique*. Cet appareil ne réagit que pour les pressions inférieures et supérieures qui se font sentir dans le champ aérodynamique d'un corps et est indépendant de la vitesse du courant d'air dans les limites de 0 à 10 mètres à la seconde. Un appareil construit spécialement, la *tête de sonde*, qui se place sur l'embouchure du tube du manomètre a pour effet que dans un courant d'air libre on ne constate pas de différence de pression au manomètre (niveau à pression de Tœpler). On peut ainsi, au moyen de la sonde mano-

[1] Cf. *Ann. der Physik* IV. 35. 73. 1911).

métrique déterminer quantativement le champ aérodynamique d'un corps. On constate de cette façon derrière une plaque perpendiculaire au courant d'air des minima de pression qui correspondent aux centres des tourbillons, et un intéressant maximum de pression là où le « Vorstrom » ou « Nachlauf » prend naissance. En faisant varier l'inclination de la plaque, il se produit des phénomènes plus compliqués, une dégénération des tourbillons, etc.

En collaboration avec M. le Dr S. Räber, l'auteur a cherché à déterminer la résistance de l'air à partir de la répartition de la pression sur la face antérieure (pression supérieure, qui diminue dans la direction des bords de la plaque suivant une fonction déterminée) et à partir de la pression inférieure. Ils ont trouvé une concordance très satisfaisante des résultats obtenus de ces deux maxima différents.

Dr Albert Perrier. *Sur la susceptibilité des corps paramagnétiques aux très basses températures.*

M. Albert Perrier résume les résultats obtenus récemment au laboratoire cryogène de Leyde par M. Kamerlingh Onnes et par lui-même sur la susceptibilité paramagnétique à des températures s'étendant jusqu'au point de congélation de l'hydrogène.

Ces résultats (l'existence d'un maximum en particulier), ainsi que d'autres sur le diamagnétisme et la susceptibilité ferromagnétique initiale, seront publiés dans les *Archives* en un mémoire détaillé contenant aussi l'exposé des diverses méthodes expérimentales qui ont permis leur obtention.

COMPTE RENDU DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE ET D'HISTOIRE NATURELLE DE GENÈVE

Séance du 6 juillet 1911

Ed. Claparède. Procédé pour contrôler l'authenticité de l'hypnose. — Le même. Etat hypnoïde chez un singe. — Th. Tommasina. Appareil d'aviation non renversable.

M. Ed. Claparède communique un *procédé pour contrôler l'authenticité de l'hypnose.*

Divers auteurs estiment que l'authenticité des états décrits sous le nom d'hypnose n'est pas démontrée. Il s'agirait le plus souvent d'attitudes simulées, par tromperie ou par complaisance. M. Claparède a donc cherché un procédé qui permette de distinguer la réalité d'un état particulier du psychisme correspondant à l'hypnose. Ce procédé, fondé sur l'amnésie posthypnotique, est le suivant :

On lit à haute voix au sujet, se trouvant à l'état de veille, une série de dix mots quelconques (p. ex. : maison, justice, bougie, marcher, 1883, tampon, etc.). Après quoi, on endort le sujet, et pendant qu'il est en hypnose, on lui lit une série de dix autres mots, série analogue à la première. Puis on l'éveille et on passe à l'expérience d'épreuve, qui consiste à lire au sujet les vingt mots présentés précédemment, mélangés à dix mots entièrement nouveaux, et à prier ledit sujet d'indiquer les mots qui lui ont été déjà présentés et ceux qui lui paraissent nouveaux.

Si l'amnésie posthypnotique est simulée, le sujet s'embrouillera, se coupera, car il lui sera impossible, après une seule audition (celle-ci ayant eu lieu sans qu'il se doute du but de l'expérience), de se rappeler quels sont les mots qui appartiennent à la première série, dont il est censé se souvenir, et ceux qui appartiennent à la seconde, qu'il est censé avoir oubliée (puisque le sujet à l'état de veille perd le souvenir des faits qui ont eu lieu pendant l'hypnose).

Si, au contraire, l'amnésie posthypnotique est authentique, le

sujet distinguera sans difficulté les mots de la première série qu'il reconnaît, de ceux de la seconde série, qui, comme ceux de la troisième série, lui font l'impression de mots entièrement nouveaux.

M. Claparède a vérifié sur un sujet l'efficacité de cette méthode, et il a pu du même coup se convaincre que, chez ce sujet tout au moins [1], l'état d'hypnose correspond à une modification particulière du psychisme, inexplicable par la simulation, ou la complaisance. En effet, lors de l'expérience d'épreuve, tous les mots qui ont été reconnus (six mots reconnus sans hésitation, et deux avec hésitation) *appartenaient à la première série*. Au contraire, pas un seul des mots de la deuxième ni de la troisième série n'a été reconnu. — Des expériences analogues, avec les mêmes résultats favorables, ont été faites avec des noms de ville ou des vignettes.

Une fois l'expérience d'épreuve achevée, M. Claparède a endormi de nouveau son sujet, et lui a présenté encore une fois les trente mots précédemment montrés, convenablement mélangés, en le priant d'indiquer ceux qui faisaient partie de la série présentée en hypnose. Dans l'état d'hypnose, le sujet n'a pas perdu le souvenir de ce qui s'est passé dans l'état de veille; mais le but de cette expérience était de voir si les mots présentés en hypnose avaient acquis de ce fait un certain cachet affectif ou autre qui permît au sujet de les distinguer de ceux présentés en veille. Or, cela est bien le cas : sur les dix mots de la série-hypnose, *sept ont été reconnus sans hésitation* comme ayant été présentés en hypnose; au contraire, aucun des mots présentés dans la première série n'a été reconnu pour avoir été présenté en hypnose (mais les réponses relatives à ces mots ont parfois été hésitantes, de même que pour les mots nouveaux de la troisième série). Pour la série avec vignettes, le sujet a distingué, sans aucune erreur, les vignettes présentées en hypnose de celles présentées en veille.

Le sujet en question n'ayant nullement une mémoire exercée, et ignorant le but de l'expérience (de telle sorte qu'il n'a pu, au moment de la présentation des cartes, faire un effort de mémoire pour les associer en série), il est évident que cette distinction des mots ou vignettes présentées en veille ou en hypnose ne peut tenir qu'au fait que les souvenirs dépendant de chacun de ces deux états sont affectés d'une marque spéciale, sont colorés d'une façon non équivoque pour le sujet. [2] Or, cette différence de marque, de

[1] Il s'agit de la personne décrite sous le nom de Mme Bul, dans le travail de Claparède et Baade, Rech. exp. sur quelques processus psychiques dans un cas d'hypnose, *Arch. de Psychol.*, VIII, 1909.

[2] Le sujet étant endormi déclare notamment que les mots qui lui ont été dits en hypnose, « elle les voit beaucoup plus près, à sa droite; les autres sont dans le trouble, à gauche d'une sorte de barre. »

coloration, ne peut tenir qu'à un état différent du psychisme dans chacun de ces deux états. A supposer donc que l'hypnose ne soit parfois qu'une simulation, elle correspond certainement dans certains cas à une modification psychique réelle.

M. Ed. Claparède relate ensuite quelques observations sur un *état hypnoïde chez un singe.*

M. Claparède ayant essayé d'hypnotiser, au moyen de passes et de fixation du regard, un singe Cynocéphale femelle qu'il possède depuis deux ans, — singe très vif et mobile, nullement dressé, et peu affectueux, — fut assez étonné de voir que ces manœuvres plongeaient presque instantanément l'animal dans un état de calme complet: le singe reste couché sur le dos, immobile, et, si on fixe ses yeux, on voit ceux-ci battre de la paupière et bientôt se fermer pour quelques instants (parfois les yeux restent clos une demi-minute, mais l'animal les rouvre au moindre bruit se produisant dans le lointain). Lorsqu'il est dans cet état, et même immédiatement après, alors qu'il s'est redressé, ce singe (d'ordinaire intraitable) présente une docilité extraordinaire pour les mouvements qu'on lui imprime, et il garde les attitudes qu'on lui donne, ainsi que le font les sujets en catalepsie *(flexibilitas cerea)*. On peut ainsi lui faire garder les deux bras et les deux jambes étendus en haut et en avant, de sorte qu'il ne repose, en équilibre instable, que sur son derrière.

Un phénomène de ce genre, qu'il n'y a pas de raison pour ne pas rapprocher des phénomènes d'hypnose obtenus chez l'homme, puisqu'il y ressemble à s'y méprendre, semble indiquer que l'hypnose n'est pas uniquement, comme on le prétend couramment, un produit de la suggestion. On ne voit pas bien le rôle que jouerait ici la suggestion, ni quelle serait l'idée ou la représentation suggérée qui s'imposerait ainsi au cerveau du singe.

Il vaut mieux considérer cette docilité momentanée, cette sorte d'état d'abandon, comme une attitude réflexe, peut-être attitude de volupté, comme on rencontre dans les phénomènes de l'amour. Un auteur de l'école de Freud, Ferenczi, a récemment proposé de considérer l'hypnose comme un état de soumission à base sexuelle. L'état hypnoïde observé chez ce singe s'accomoderait assez bien de ce genre d'explication. — Il serait intéressant de répéter cette expérience sur d'autres quadrumanes, notamment sur des mâles.

M. Th. Tommasina. — *Sur un appareil d'aviation non renversable et effectuant automatiquement le vol plané en cas d'arrêt du moteur.*

Il suffit d'observer attentivement le vol des oiseaux pour être frappé de la complexité de leurs moyens, je dirai de la richesse

mécanique qu'ils possèdent et qu'ils peuvent utiliser simultanément. On en a fait une analyse sommaire et on a distingué :

Le vol *orthoptère*, par lequel certains oiseaux peuvent s'élever presque verticalement, par l'abaissement et le relèvement simultané des deux ailes. C'est la forme convexe vers le haut et la vitesse plus grande de l'abaissement par rapport à celle du relèvement des ailes, qui leur permet de monter.

Le vol *ornithoptère*, qui se distingue du précédent en ce que le coup d'aile est oblique par rapport à la verticale. Il en résulte que l'oiseau se déplace parallèlement au sol. Il peut d'ailleurs se déplacer aussi suivant une trajectoire oblique.

Le vol *plané*, quand le déplacement a lieu sans mouvement apparent des ailes.

Le vol *à voile*, quand l'oiseau utilise la pression du vent contre ses ailes, qui ne font que changer rapidement de position, sans faire un travail de propulsion.

Puis, enfin, le vol *ramé*, c'est le vol des oiseaux qui parcourent des grandes distances. Ici, la sustentation est obtenue, grâce à la vitesse, c'est le principe fondamental de l'aéroplane ; l'oiseau y développe, avec une partie de l'aile, une propulsion horizontale.

L'aéroplane réalise, avec l'angle d'attaque de ses ailes immobiles et par la rotation des pales hélicoïdales de son propulseur, ce dernier type de vol ; à l'aide de ses ailerons-gouvernails et du gauchissement partiel de ses ailes, il tâche d'obtenir les autres formes de vol. Si le pilote s'aperçoit à temps, par le bruit du moteur, que ce dernier marche mal, il peut réaliser le vol plané et atterrir sans danger. Mais, si le moteur s'arrête tout à coup, lorsque la faible hauteur et les conditions du régime de marche ne se prêtent pas pour commencer le vol plané, l'aéroplane tombe, comme l'oiseau tué.

Les perfectionnements qu'on apportera aux moteurs actuels, et la création de nouveaux moteurs, diminuera toujours davantage la probabilité d'un accident de cette nature, mais ne l'éliminera pas. Or, si l'on veut que les voyages par la voie aérienne puissent devenir pratiques, comme ceux en automobile, il faut qu'un tel danger soit supprimé, il faut que la vie de l'aviateur ne soit plus à la merci d'un arrêt instantané, toujours possible, du moteur.

La vitesse actuelle des aéroplanes peut dépasser les 120 kilomètres à l'heure, donc les 33 mètres à la seconde, ce qui suffit pour dominer les vents ordinaires ; mais cette vitesse n'a été obtenue que grâce à la grande puissance, par rapport au poids, des moteurs à explosion, et grâce à des sacrifices ayant trait aux dimensions que la surface portante avait chez les simples planeurs, ce qui a amené une moindre sécurité dans le cas d'une panne imprévue du moteur. C'est dire que la stabilité des meilleurs aéroplanes actuels est inférieure à celle des anciens planeurs.

Le problème à résoudre mécaniquement était donc de faire que l'oiseau artificiel, venant de perdre en plein vol ses moyens de propulsion, ne tombât pas comme l'oiseau tué. Aucun type de parachute ne peut donner une solution pratique; il faut que l'appareil lui-même soit son propre parachute, et il faut, en outre, que la descente soit dirigeable et non pas à la merci du vent.

L'appareil que j'ai inventé et que je crois répondre à ce but, est complètement différent des appareils d'aviation en usage; aussi, en le présentant, je lui donne le nom nouveau de *voloplane*, qui

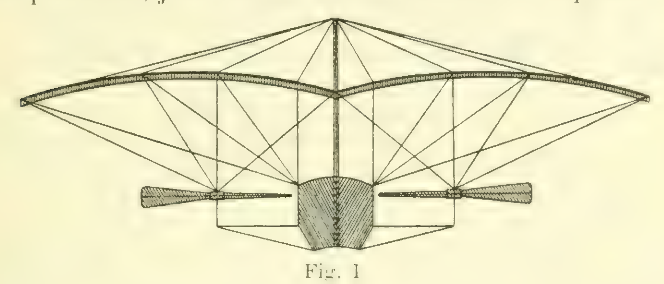


Fig. 1

vole et plane. Ce nom lui est bien approprié, parce que ses propulseurs, d'un type également nouveau, produisent successivement à chaque tour la traction ou mieux la poussée horizontale ou longitudinale par une action analogue au vol ramé des oiseaux, et un travail de sustentation produit par des surfaces portantes inclinées, petites, mais actives pendant le vol et utiles pendant la descente. En outre, la constitution mécanique du voloplane est équilibrée de telle façon qu'elle lui procure une stabilité absolue et lui donne le pouvoir de commencer et de continuer automatiquement la descende en vol plané en cas d'arrêt du moteur. (Fig. 1.)

Le régime du voloplane est plus régulier que celui de l'aéroplane, et sa gouverne est plus sûre et plus facile, car il possède la qualité précieuse de ne pas être renversable.

On se convaincra de la réalité de ces avantages d'après la description sommaire de l'appareil que je vais en donner :

1°. — La projection horizontale de la surface portante, qui couvre tout l'appareil, est carrée. Cette aile unique (ou double, formant une quille longitudinale) n'est donc pas fixée au châssis de l'esquif, comme les ailes du monoplan, mais elle en forme le toit, ayant le même angle d'inclinaison ou d'attaque que les ailes des aéroplanes. (Fig. 1.) L'esquif long et mince est effilé en avant et en arrière.

2°. — Les propulseurs au nombre de 2 ou de 4, et à deux ailes, tournent chacun sur un axe vertical et en sens contraire selon le côté. Tandis que les ailes des propulseurs à hélice forment un seul bloc rigide, celles-ci sont mobiles autour de leur axe longitu-

dinal. A l'aide d'un engrenage intermittent ne présentant qu'une résistance minime, le frottement pouvant être atténué par un roulement à billes, les ailes produisent pendant chaque tour du propulseur, successivement et alternativement, le vol ramé, avec une pression normale pour la translation horizontale pendant $^{1}/_{5}$ de tour, puis une pression oblique glissante pendant $^{2}/_{5}$; les autres $^{2}/_{5}$ étant utilisés pour les deux rotations de 90° de chaque aile sur son axe. Ces rotations de 90° des ailes ne sont pas influencées par la résistance de l'air quelle que soit la vitesse de travail du propulseur. La pression de l'air est normale à l'aile, mais le mouvement d'une moitié d'aile étant en sens opposé de celui de l'autre moitié, la résultante des deux actions, l'une contraire, l'autre favorable à la rotation, est toujours nulle. (Voir fig. 2 et 3.)

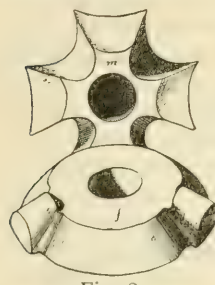
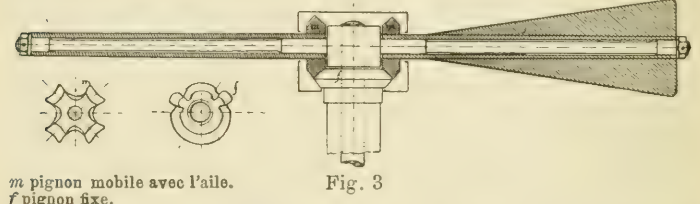


Fig. 2

3°. — Les trois stabilités : latérale ou contre le roulis, longitudinale ou contre le tangage et la stabilité de route ou contre la giration, sont obtenues à l'aide de la symétrie dynamique parfaite due au mode spécial de propulsion par deux ou quatre propulseurs conjugués.



m pignon mobile avec l'aile.
f pignon fixe.

Fig. 3

4°. — On pourra utiliser un seul moteur ou plusieurs, cela dépendra du moteur choisi, des dimensions du voloplane et surtout des résultats de la pratique. L'expérience seule peut trancher cette question comme beaucoup d'autres.

5°. — Les virages peuvent se faire, soit par l'action d'un gouvernail vertical, soit par la diminution de la vitesse du ou des propulseurs du côté où l'on veut tourner, ou par l'accélération du côté opposé.

6°. — Le maintien du vol horizontal est produit par la vitesse et par l'angle d'inclinaison ou d'attaque de la surface portante et des ailes des propulseurs pendant leurs parcours en travail de sustentation. Les modifications verticales sont obtenues, soit par le gouvernail de profondeur, soit par les changements de vitesse des deux propulseurs antérieurs ou des deux postérieurs, dans le voloplane à 4 propulseurs, qui est certes le type présentant la meilleure stabilité, donc la sécurité maxima.

7°. — La stabilité automatique longitudinale due à la queue des aéroplanes n'est en réalité qu'un état d'équilibre instable. Au contraire, l'équilibre du voloplane à 4 propulseurs est stable, même à moteur arrêté, et est dû, non seulement à la position basse du centre de gravité, mais encore à sa symétrie statique ou de forme et à sa symétrie dynamique ou de mode de propulsion et de sustentation glissante. L'action propulsive s'effectuant dans le plan qui contient la résultante des différentes résistances, plan qui se trouve au-dessus de celui parallèle passant par le centre de gravité du voloplane. C'est ce qui donne à celui-ci les propriétés qui le caractérisent de ne pas être renversable (car il ne peut ni se cabrer ni capoter) et de prendre immédiatement la glissade du vol plané, dès que le moteur cesse de fonctionner. En effet, à cet instant, tandis que les deux branches de l'hélice verticale, quelle que soit leur position, gênent l'opération, au contraire, les ailes du nouveau propulseur horizontal, même arrêtées dans leur position de travail pour ramer, sont ramenées par la pression de l'air dans une position où elles agissent utilement comme guides à la glissade. De cette façon il suffit au pilote de manœuvrer avec le gouvernail de direction pour atterrir convenablement à l'endroit le plus favorable et sans choc ; la surface portante devant avoir les dimensions requises que l'expérience permettra de fixer exactement pour chaque type d'appareil.

En plus des avantages qu'on vient d'indiquer, il faut encore ajouter les suivants :

Théoriquement, le propulseur à hélice des aéroplanes serait parfait, si l'avance par tour correspondait au pas de la surface hélicoïdale. En pratique, comme l'hélice doit faire un travail de traction ou de poussée, il se vérifie un recul, l'avancement réel est inférieur au pas. C'est ce qui donne lieu à une dépense d'énergie en pure perte, produisant, en outre, des mouvements tourbillonnaires de l'air, nuisibles, très complexes. Le fait est que le rendement actuel de l'hélice sur aéroplane n'est que du 40 pour 100. Il y a donc une perte de 60 pour 100. On pourrait transporter un poids double, ou obtenir une double vitesse, avec le même appareil, si l'on avait un type de propulseur donnant seulement un rendement de 90 pour 100[1]. L'expérience montrera si mon propulseur pourra atteindre ou dépasser ce dernier rendement ; en tous cas, son mode de travail doit réduire au minimum les remous tourbillonnaires, et comme il demande une vitesse de rotation moindre pour obtenir la même vitesse de translation, cela diminuera l'échauffement du moteur et augmentera conséquemment la régularité de sa marche et sa durée.

[1] Il ne faut pas confondre le rendement de l'hélice propulsive au point fixe avec celui de la même sur appareil en marche à grande vitesse, dont il est question ici. (*Note de l'auteur.*)

COMPTE RENDU DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ VAUDOISE DE CHIMIE

Séance du 16 juin 1910

L. Pelet-Jolivet. Etude de quelques silicates

M. Pelet-Jolivet présente les premiers résultats d'une étude des *combinaisons de la silice* avec des sels de fer et cuivre. En additionnant de silicate de sodium une solution d'une des substances mentionnées, on obtient des précipités présentant le phénomène de « Vor- et Nachzone » observé par Teague et Buxton, lors de la précipitation d'une matière colorante par une autre de signe inverse.

Les analyses des précipités obtenus mettent en évidence une grande complexité dans la composition de ceux-ci, et la variation continue de leur composition permet de classer ces corps dans les combinaisons d'adsorption.

Séance du 11 novembre

P. Dutoit. Maladie des métaux. — J. Amann. Cas particulier de maladie d'acier.

M. Paul Dutoit expose, dans une conférence très intéressante, les résultats des travaux de M. Cohen, à Utrecht, sur les maladies des métaux (fer, étain et cuivre).

M. J. Amann a étudié un cas de *maladie de métal par écrouissage*, dont un câble de funiculaire avait été atteint. Le câble en acier, localement attaqué par des acides organiques faibles, avait subi une modification complète de la structure moléculaire, qui s'étendait aussi sur les parties non corrodées, et qui causait une réduction de la résistivité à la traction telle que le câble rompit sous une charge insignifiante.

Séance du 15 décembre

Kehrmann et Steinberg. Constitution d'une combinaison entre le chlorure de picryle et l'o- aminothiophénol. — Amann. Recherches ultramicroscopiques. — Dutoit. Traces d'or en solutions KCN.

MM. Kehrmann et Steinberg constatent que la *réaction entre le chlorure de picryle et l'o-aminothiophénol* se passe bien suivant la formule antérieurement établie[1]

$$NH_2,\ SH \quad + \quad NO_2,\ Cl,\ O_2N,\ NO_2 \quad = \quad NH,\ NO_2,\ SH,\ O_2N,\ NO_2 \quad + \ HCl$$

et que la formule de Mitsugi, Beyschlag et Möhlau[2]

$$SH,\ NH_2 \quad NO_2,\ O_2N,\ Cl,\ NO_2 \quad = \quad S,\ NO_2,\ NH_2,\ O_2N,\ NO_2 \quad + \ HCl$$

doit être erronée. Les auteurs s'appuient sur le fait que le di-o-aminophénolsulfur. réagissant avec deux molécules de chlorure de picryle donne naissance au corps

$$S;\ NH,\ O_2N,\ NO_2,\ NO_2;\ NH,\ O_2N,\ NO_2,\ NO_2$$

qui, par réduction, peut être scindé en deux molécules de picrylaminothiophénol identique à celui que l'on obtient par l'autre procédé. Suivant ce dernier mode de formation, on ne peut lui attribuer que la constitution établie par Kehrmann.

M. J. Amann. 1. Certaines *solutions d'iode* sont des fausses solutions avec une phase micellaire. L'auteur y a constaté, à plusieurs reprises des phénomènes de phototropie et formation d'une photophase nouvelle[3]. Ces observations présentent un grand intérêt au

[1] Kehrmann. *Ber. der deutsch. chem. Ges.*, 32. 2601, 1899.

[2] *Ber. der deutsch. chem. Ges.*, 43. 927, 1910.

[3] *Journ. suisse de Chim. et Pharm.*, *Zeitschr. f. Kolloide*, 1911.

point de vue des propriétés physico-chimiques de ces solutions; ainsi, par exemple, pour le poids moléculaire apparent, la courbe des solubilités, l'absorption spectrale, etc., etc. L'auteur déduit de ses observations que l'iode se trouve sous les formes suivantes dans ces solutions :

a) Phase ion-disperse : J'_1, J'_3, J'_5,... et JO′ (par hydrolyse);

b) Phase molécule-disperse : iode libre J_n ;

c) Phase molécule-disperse : sous forme de combinaison d'adsorption avec le dissolvant;

d) Phase colloïde-disperse : iode libre ou combinaisons d'addition ou d'adsorption en micelles amicroscopiques et submicroscopiques;

e) Suspension d'iode en « dispersion spontanée ».

La sensibilité à la lumière est causée par la coïncidence des conditions suivantes :

α) Présence d'une combinaison d'adsorption de labilité spécifique;

β) Présence de iode en fine suspension, servant de catalyseur pour la photophase de la combinaison d'adsorption;

γ) Conditions de température et d'effet lumineux qualitatif et quantitatif.

2. L'ultramicroscope est applicable pour compter directement les bactéries de l'eau.

3. L'auteur a réussi de rendre visible sous l'ultramicroscope la cryptokinèse et des mouvements cryptocinétiques entre autre dans des coupes minces de certains minéraux et roches (quartz, granit, gabbro, porphyre).

4. Les solutions aqueuses de ferro- et de ferricyanure de potassium contiennent de nombreuses micelles n'ayant aucun effet catalytique sur H_2O_2.

Sous l'action actinique, par contre (arc électrique), il se forme une photophase micellaire qui catalyse la décomposition de H_2O_2. C'est cette photophase qui est dans le cas particulier le catalyseur colloïdal de « nature hétérogène », de Kistiakowski et Weigert. Il est probable que la photophase agit déjà catalytiquement à l'état amicroscopique. Il paraît, du reste, que l'effet catalytique de certains colloïdes dépend de ce que : *a*) l'énergie superficielle de la phase-disperse acquiert une certaine valeur absolue (par dispersion suffisamment grande), et agrandissement de la surface; — *b*) que la différence de potentiel qui lui correspond soit de nature mécanique (tension superficielle). Ainsi, les phases ion-disperse et molécule-disperse où l'énergie superficielle consiste théoriquement en un potentiel purement électrique, ne présentent pas ce phénomène spécifiquement colloïdal catalytique.

La solution de nitroprussiate de sodium renferme également

des micelles nombreuses, en même temps qu'elle est très sensible à la lumière. Il paraît que sous l'action de la lumière déjà dans des solutions pures, il se forme des traces de H_2O_2 (par oxydation de l'eau), qui se décomposerait spontanément en produisant des bulles d'oxygène. L'eau oxygénée même est catalytiquement décomposée par le nitroprussiate dans la lumière.

MM. Paul et Pierre Dutoit présentent une série d'échantillons de *cendres de charbon colorées par des traces d'or.* L'or, en très petites quantités, contenu dans des solutions de cyanure de potassium (lors du procédé au cyanure pour l'extraction de l'or), peut être retrouvé en additionnant de 0,5 gr. de charbon « Entfärbungskohle » un litre de la solution. Après agitation, filtration et incinération, les cendres ainsi obtenues sont blanc jaunâtre, lorque les solutions sont exemptes d'or. La moindre trace d'or contenue dans la solution (0,05 mgr. par litre) les colore nettement en rose, qui vire au bleuâtre avec des plus grandes quantités d'or. En comparant une cendre ainsi obtenue avec une échelle d'échantillons préparés avec des quantités connues d'or, on peut facilement apprécier les quantités de traces d'or contenues dans de pareilles solutions.

Séance du 19 janvier 1911

Chuard et Mellet. Nicotine dans les déchets de culture de nicotiana tabacum. — Dutoit et Duboux. Dosage de l'acidité du vin. — Dutoit et Weisse. Volumétrie par précipitation. — Kehrmann et Lœwy. La thiopyromine la plus simple.

MM. Chuard et Mellet présentent les premiers résultats d'une étude sur *la nicotine dans les déchets de la culture du tabac*, qui montrent que la quantité de cet alcaloïde contenue dans les troncs, bourgeons axillaires, rejets, etc., n'est pas négligeable. Il vaut la peine de l'extraire pour son utilisation en agriculture comme insecticide. Par exemple, un échantillon de rejets de tabac prélevé après la récolte des feuilles en septembre 1910, contenait jusqu'à 1,45 gr. de nicotine par kilo de substance verte, soit 1,2 % par rapport à la substance sèche. Les auteurs ont constaté que dans ces déchets de la plante de tabac, la quantité de nicotine diminue par dessiccation, comme dans les feuilles employées pour la fabrication des tabacs. L'échantillon précédent, par exemple, après dessiccation, ne contenait plus que 1,01 gr. de nicotine par kilo de substance verte, soit 0,84 % par rapport à la substance sèche. Il sera donc plus avantageux, dans tous les cas, d'extraire la nicotine de la plante verte. Les auteurs se proposent d'étudier

cette année les variations de la quantité de nicotine aux différentes époques de l'année, dans les différentes parties de la plante des tabacs cultivée dans ce canton. Pour extraire et titrer la nicotine dans leurs échantillons (verts ou secs), ils ont élaboré une nouvelle méthode, qui permet de déterminer la nicotine avec une exactitude absolue, même dans les mélanges les plus pâteux. Cette méthode sera publiée prochainement.

MM. Dutoit et Duboux. En titrant *le vin avec de la soude caustique*, on obtient deux valeurs différentes pour l'acidité, suivant que l'on utilise comme indicateur de fin de réaction le virage coloré du tournesol ou le point d'inflexion de la courbe des conductivités. Dans le dernier cas, la valeur est plus forte. La différence correspond aux acides faibles du vin, notamment aux matières tannantes, au second et au troisième H' de l'acide phosphorique, au second H' de l'acide sulfureux. Pour le dosage des matières tannantes par la méthode des conductivités, il faut donc tenir compte de la proportion des phosphates minéraux, qui est très forte et très variable dans les vins blancs, et qui, même dans les vins rouges, atteint quelquefois 25 % de la différence mentionnée.

MM. Dutoit et Weisse. Les *méthodes volumétriques par précipitation* présentent des écarts de la valeur calculée d'autant plus grands que les précipités sont plus adsorbants. Les erreurs systématiques observées lors de la dilution des réactifs sont également des phénomènes d'adsorption. Des considérations théoriques conduisent à une formule $V = V_1 (1 + \beta C^n)$, par laquelle le vrai volume V d'une solution de $K_4Fe(CN)_6$ pourrait être calculé, qui est nécessaire pour précipiter une certaine quantité de $CuSO_4$ (avec différences de potentiel comme indicateur), si V_1 est le volume lu à la burette, qui correspond au saut du potentiel, β la force adsorbante, C la solubilité du $Cu_2Fe(CN)_6$, n une constante (dans le cas particulier 0.2).

MM. Kehrmann et Lœwy. Par l'*action du sesquioxyde de soufre*[1] *sur le diacétyle-diamino-diphénylméthane*, les auteurs ont préparé la thiopyronine la plus simple :

CH

H_2N NH_2

SCl

[1] Sandmeyer. D. R. P. 65739 de Geigy et C°, Bâle.

Le rendement n'est que très faible, une sulfuration plus énergique n'ayant pas pu être évitée. Le chlorure forme des aiguilles vertes d'éclat métallique, solubles dans l'alcool et dans l'eau, avec coloration rouge écarlate et fluorescence jaune orange. Le coton tanné en est coloré en rouge écarlate d'un ton clair, un peu plus jaunâtre que la coloration obtenue par la phénosafranine. Par élimination d'un groupe amido, les auteurs ont obtenu l'apothiopyronine en petite quantité, dont la coloration est plutôt bleuâtre et plus trouble que celle du corps diamidé.

Séance du 2 mars

P. Dutoit. Etude de l'hyposulfite cuivreux. — J. Amann. Réactions ultramicroscopiques.

MM. Paul et Pierre Dutoit. En titrant *une solution de sulfate de cuivre par l'hyposulfite de sodium*, ou inversement l'hyposulfite par le sel cuivrique, en utilisant successivement les conductibilités, les différences de potentiel et le point de congélation comme indicateurs de fin de réaction, on constate qu'entre 0° et 50° et pour des concentrations variant de $\frac{N}{5}$ et $\frac{N}{250}$, la courbe représentative de ces titrations ne possède qu'un seul point d'inflexion bien marqué. Ce point correspond à 2 mol. $CuSO_4$ pour 4,2 à 4,4 mol. de $Na_2S_2O_3$. Cela paraît confirmer les vues de Rosenheim et Steinhäuser [1] qui n'admettent que l'existence d'un seul hyposulfite cupro-sodique, dont la formule serait $Cu_2S_2O_3.Na_2S_2O_3$. Les autres produits mentionnés dans la littérature n'étant, à leur avis, que des mélanges ou des solutions solides des deux composants. Pour former $Cu_2S_2O_3.Na_2S_2O_3$, il faudrait 2 mol. $CuSO_4$ pour 4 mol. $Na_2S_2O_3$. L'écart existant entre ce chiffre théorique et la valeur que les auteurs ont observée, peut s'expliquer par la formation de solutions solides, c'est-à-dire de cristaux mixtes renfermant $Cu_2S_2O_3.Na_2S_2O_3$, avec un excès de $Na_2S_2O_3$. Le fait que le précipité $Cu_2S_2O_3.Na_2S_2O_3$ ne se forme que lentement, alors même que la réaction qui lui donne naissance est instantanée, montre que ce produit doit exister en fausse solution. Cela est confirmé par des mesures de conductivité qui reste constante pendant la précipitation. Le passage lent de l'état micellaire à l'état cristallin doit favoriser la formation de cristaux mixtes et, par conséquent, l'écart entre le point final théorique et le point final observé. $Cu_2S_2O_3.Na_2S_2O_3$ se dissout dans un excès de $Na_2S_2O_3$ pour former des composés solubles. La constitution de ceux-ci n'a pu être déterminée avec certitude.

[1] *Zeitschr. f. anorg. Chem.*, **25**. 72.

M. J. Amann. Les *solutions des sulfures et des hyposulfites alcalins* ne présentent pas de phénomènes particuliers sous l'ultramicroscope. Par contre, les solutions aqueuses des polysulfures et des sulfhydrates sont décomposées avec formation d'une photophase micellaire consistant très probablement en S (soufre insoluble). De même, toutes les solutions du soufre dans CS_2, CCl_4, C_6H_6 et homologues, alcool amylique, térébenthine, etc., sont très sensibles à l'action actinique et présentent une photophase de S_n colloïdal. La fixation sur les parois des micelles de la photophase par adsorption, est d'autant moindre que la viscosité de la phase liquide est plus considérable.

La plupart des solutions d'iodoforme sont décomposées très rapidement par la lumière, même à l'abri de l'air, avec formation d'une photophase micellaire. La sensibilité de ces solutions paraît répondre à la règle suivante :

1. Les dissolvants violets de l'iode (CS_2, Ccl_4, CH, Cl_3, etc.) donnent des solutions extrêmement photosensibles;

2. Les dissolvants rouges (C_6H_6) donnent des solutions moins sensibles;

3. Les dissolvants jaunes et bruns de l'iode donnent des solutions qui sont peu ou pas photosensibles.

Les solutions dans l'essence de térébenthine et l'alcool amylique, qui agissent comme oxydants, sont très sensibles. La solution amylique présente très nettement le phénomène de la cristallisation instantanée de l'iodoforme par l'action de la lumière.

Séance du 19 mai

MM. Kehrmann et Knop. Sels d'oxonium. — M. P. Dutoit. Volumétrie physico-chimique.

MM. Kehrmann et Knop. *Sels d'oxonium*. Les sels du diméthylphénylxanthonium (I) sont beaucoup plus stables que ceux du phénylxanthonium (II)[1].

I: C; H_3C; CH_3; O; Cl

II: C; O; Cl

III: $—COOC_2H_5$; C —OH; H_3C; CH_3; O

[1] Bünzli und Decker. *Ber. d. chem. Ges.*, 37, 2931, 1904.

Le chlorure II ne cristallise qu'en combinaison de HCl [2], tandis que l'iodure et le bromure du dérivé diméthylique précipitent en solution aqueuse acidulée, après addition de bromure et iodure de potassium. Une solution de 0,05 gr. de xanthydrol dans 1 cc. d'acide sulfurique concentré est troublée par 5 gr. d'eau et décolorée par 50 cc. d'eau, tandis que l'on peut dissoudre dans 5 litres d'eau une solution analogue de diméthylxanthydrol, sans que la base précipite. Noelting et Leonhardi [3] ont déjà constaté que les sels d'oxonium de l'éther éthylique de l'acide diméthylxanthydrolcarbonique ne sont guère hydrolysés par l'eau. On obtient facilement, à l'état cristallisé, les halogénures simples de l'éther méthylique correspondant. Le chlorure cristallise en aiguilles jaunes, facilement solubles dans l'eau, d'un goût amer, et qui correspond à la formule IV. Le bromure est jaune orange, l'iodure vert noirâtre, les deux solubles à l'eau avec couleur jaune.

Kehrmann et Lœwy ont réduit en 1 amino-phénoxagine le 1 nitrophénoxazine récemment préparé par Ullmann (V). Le produit de la réduction avait été transformé en sels de 1 amino-phenazoxonium moyennant $FeCl_3$. Ainsi le chlorure VI forme des cris-

IV: NH, NO_2, O

V: N, NH_3, O, Cl

VI: $COOCH_3$, C, H_3O, CH_3, O, Cl

taux vert noirâtre, facilement solubles dans l'eau, avec coloration verte [3].

La solution aqueuse neutre ne se maintient que peu de temps à la température ordinaire; la solution acidulée est plus stable.

M. P. Dutoit. *Volumétrie physico-chimique.* La méthode des différences de potentiels avec électrode rotative et polarisation cathodique [4] est susceptible d'une grande généralisation. On obtient les différences de potentiel Cd/Cd'', Ni/Ni'' (Otero y Garcia),

[1] *Lieb. Ann.*, 370, 159, 1909.

[2] *Dissert.*, Zürich. Seemann & C°.

[3] *Lieb. Ann.*, 366, 110, 1909.

[4] v. Weisse. *Dissert.*, Lausanne.

Zn/Zn'' (H. Reyewska), moyennant des électrodes amalgamées. Dans des solutions de mélanges de Cu, Zn, Cu, Cd, Cu, Ni, le sulfure de sodium précipitant le cuivre quantitativement avant les autres métaux, ce réactif peut servir pour effectuer une séparation par une seule opération volumétrique suivie à l'électromètre. Ayant en vue de rendre la méthode des conductivités [1] utilisable pour la détermination des poids atomiques, Guerini opère avec un pont de 5 m. de longueur des quantités considérables de solutions diluées (2 l.), et en maintenant la température rigoureusement constante. Dans beaucoup de cas (AgBr, $BaSO^4$, en solution alcoolique), l'erreur ne dépasse pas 1/4000. On espère augmenter encore la précision. Les courbes de précipitation permettent de calculer la solubilité des précipités. Dans certains cas, la méthode fait défaut à cause des phénomènes d'adsorption qui suivent certaines précipitations.

Séance du 15 juin

M. J. Amann. Etude ultramicroscopique. — M. P. Dutoit. Volumétrie physico-chimique.

M. J. Amann fait une rectification relative à son travail intitulé : *Etude ultramicroscopique* des solutions d'iode (*Bull. Soc. Vaud. Sc. nat.*, XLVII). Le théorème, cité page 46, est celui de Gibbs généralisé par *Wo. Ostwald* (Grundrifs) et étendu par lui aux énergies de toutes espèces, alors que le théorème original de Gibbs ne se rapporte qu'à l'énergie mécanique (tension superficielle). M. Amann fait la démonstration d'un nouveau colorimètre qui permet la comparaison d'épaisseurs variables des liquides étudiés et qui sera décrit ultérieurement.

M. P. Dutoit. *Volumétrie physico-chimique.* Une série d'essais ont prouvé que l'on peut aisément suivre la précipitation des métaux lourds, à l'état de sulfures, par des déterminations de conductivités. Les courbes de précipitation présentent toujours un point d'inflexion très net. Les seuls métaux où ce n'est pas le cas sont : le fer, l'arsenic, l'étain. Le cuivre présente la particularité que, pour en précipiter une quantité donnée, la quantité de sulfure est de 3 % plus grande que pour précipiter une quantité équivalente d'argent.

[1] *Journ. Chim. Phys.*, Genève, 8, 27, 1909.

BULLETIN SCIENTIFIQUE

PHYSIQUE

ALB. GOCKEL. DIE RADIOAKTIVITÄT VON GESTEINEN. *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik,* 1911, B. VII, Heft 4.

Nous sommes en retard pour rendre compte des très intéressantes recherches exécutées par le savant professeur de l'Université de Fribourg sur la radioactivité d'un très grand nombre de roches de nature et de provenance des plus diverses en vue de déterminer dans quelle mesure leur pouvoir radioactif dépend de leur structure minérale et pétrographique, de leur âge, etc.

La roche à étudier, pulvérisée toujours avec le même degré de finesse, était étalée sur un disque de carton reposant sur le fond d'une boîte d'isolement cylindrique (19 cm. de diam., 15,5 cm. de h.) fixée sur un électroscope de Wulf se terminant au sein de cette boîte en une tige cylindrique de laiton de 110^{mm} de longueur et 8^{mm} de diamètre.

Les résultats de ces recherches ont été les suivants :

1° Les roches éruptives peuvent pour leur radioactivité être classées en trois groupes :

a) Les granits, les porphyres, les syénites, les pegmatites qui présentent en général une forte activité.

b) Les plagioclases, les diabases, les andésites et les gabbros, comme les ardoises cristallines qui sont presque complètement inactives.

c) Toutes les autres roches éruptives qui ont une activité moyenne.

2° L'activité des roches du premier groupe varie dans des limites très étendues, pour les observations de l'auteur dans le rapport 1 : 280. Cela provient de ce que ce sont seulement les minéraux accessoires, dont les proportions varient beaucoup, qui sont actifs.

3° Parmi les roches sédimentaires les sables quartzeux sont complètement inactifs.

L'activité des autres varie, mais atteint seulement en moyenne le $^1/_{10}$ de celle du premier groupe. Les plus actifs d'entre eux sont les limons profonds des lacs ; le sel gemme, le gyps, l'anhydrite, les calcaires purs sont dans la règle absolument inactifs.

4° Les valeurs obtenues pour le rayonnement α des roches

varient entre des limites beaucoup plus éloignées que ne l'indiquaient les mesures d'émanation de Strutt, de Joly et d'autres.

5° Un certain nombre de roches donnent un fort rayonnement β, dont le pouvoir pénétrant varie avec chaque roche. Ce qui tient peut-être à la richesse en sels potassiques. La dureté que présente parfois ces rayons pénétrants peut, dans certains cas, être attribuée au mesothorium Z. Il faut admettre que cette propriété d'émettre des rayons pénétrants, signalée en particulier par Ebler, a échappé aux autres observateurs qui se sont jusqu'ici occupés de ce sujet.

CHIMIE

Analyse des travaux de chimie faits en Suisse

P. Pfeiffer et K. Matton. Contribution a la connaissance des acides stilbène-o-carboniques (*Ber. d. D. Chem. Ges.*, t. 44, p. 1113; Zurich. Laboratoire de Chimie organ. de l'Université).

Les recherches des auteurs ont eu pour but d'étendre nos connaissances sur la chimie des acides stilbène-carboniques de la série ortho ; les substances obtenues et décrites dans ce mémoire étaient destinées à des expériences de stéréochimie. L'*acide o'-p'-dinitrostilbène-o-carbonique*, par exemple

$$HOOC.C^6H^4.CH{=}CH.C^6H^3(NO^2)_2$$

a été préparé en chauffant pendant 3-4 heures à 150° un mélange d'acide phtalonique, d'o-p-nitrotoluène et de quelques gouttes de pipéridine ; il se présente sous la forme de cristaux brillants F. à 176-177° ; l'acide *p'-o'-cyan-nitro-stilbène-o-carbonique,* F. à 227° et le dérivé *o'p'*, F. à 182, ont été obtenus d'une manière analogue ; l'acide *p-nitro-stilbène-o-carbonique* a été préparé par condensation de la benzaldéhyde avec l'éther méthylique de l'acide p-nitro-o-toluique, etc., etc. Les auteurs décrivent ces acides et d'autres encore, ainsi que leurs dérivés, puis ils signalent en outre à l'occasion de ces recherches qu'ils n'ont pas réussi à éthérifier l'o-cyan-p-nitrostilbène pour obtenir l'éther de l'acide p-nitrostilbène-o-carbonique et qu'il en a été de même de l'o-nitrile du p-nitrotoluène, tandis que le nitrile de l'o-nitrotoluène fournit facilement dans les conditions habituelles avec l'alcool méthylique et l'acide chlorhydrique l'éther méthylique de l'acide o-nitro-p-toluique.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES A

L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

PENDANT LE MOIS

DE JUILLET 1911

Le 1, fort vent dans l'après-midi.

2, à 9 h. du matin tonnerres au SE, quelques gouttes de pluie à 9 h. 30 m.; à 6 h. du soir tonnerres au SSE.

3, forte bise depuis 7 h. du soir.

les 5 et 6, rosée le matin.

le 7, rosée le matin; à 4 h. du soir tonnerres au NW; la tache de neige a disparu sur le Môle.

les 8 et 9, rosée le matin.

10 et 11, forte bise pendant tout le jour.

le 13, brumeux le matin; tonnerres au SE à 5 h. du soir.

14, rosée et brumeux le matin.

15, rosée le matin: à 1 h. du soir tonnerres au NW; à 4 h. 40 m. éclairs et tonnerres au N, pluie jusqu'à 5 h. 40 m.

16, brumeux le matin, rosée; les taches de neige ont disparu sur le Reculet.

les 17 et 18, brumeux le matin et rosée.

du 19 au 22, brumeux le matin.

le 23, à 7 h. du soir tonnerres à l'ESE; à 7 h. 30 m. et à 8 h. éclairs et tonnerres au NE.

24, brumeux le matin; de 1 h. 30 m. à 2 h. 30 m. tonnerres au NW; à 7 h. du soir orage au N, éclairs et tonnerres entre l'E et le S pendant la soirée; quelques gouttes de pluie à 9 h. 30 m.

26, éclairs et tonnerres à l'E, au SE et au NW pendant la soirée.

27, brumeux le matin; arc en ciel à 7 h. du soir; éclairs au SSE et au S pendant la soirée, quelques gouttes de pluie.

28, quelques gouttes du pluie à 7 h. 35 m. du matin; à 7 h. 20 m. du soir éclairs et tonnerres au NNE.

30, à 1 h. du matin éclairs au N; éclairs au S et au SW dans la soirée; légère averse à 10 h. du soir.

31, orage dans la nuit; à 1 h. 30 du soir tonnerres au NW; à 6 h. 30 orage au NNW; à 10 h. éclairs à l'ESE.

GENÈVE — JUILLET 1911

Jour du mois	Pression atmosphérique 700mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Barographe Max	Vent 7 h.	Vent 1 h.	Vent 9 h.	Vent Dominant	Vit. moy. kil. h.	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moy. 6 obs.	Durée d'insolation	Pluie Hauteur 24 h.	Pluie Nombre d'heures
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.										h.	mm.	
1	24.4	23.7	23.1	**23.83**	**− 3.53**	**22.3**	25.6	SW. 1	SSW. 1	WSW. 1	SSW. 1	7.9	8	2	3	4	10.4	...	....
2	24.4	25.1	27.6	25.35	− 2.04	24.0	29.2	SW. 1	W. 1	SSW. 1	SW. 1	9.8	1	8	9	6	13.4	...	....
3	30.9	31.7	34.0	31.71	+ 4.30	29.4	34.5	N. 1	N. 1	NNE 2	N. 1	12.2	6	2	1	3	11.8	...	....
4	35.0	34.5	34.3	**34.47**	**+ 7.03**	33.8	**35.0**	NNE. 1	N. 1	NNE 1	NNE. 1	10.9	9	8	0	5	6.6	...	....
5	34.9	33.6	33.0	33.75	+ 6.29	32.4	**35.0**	NNE. 1	N 1	NNE. 1	NNE. 1	9.0	1	0	0	0	14.7	...	....
6	33.0	31.5	30.5	31.78	+ 4.29	30.0	33.1	N. 1	N. 1	N. 0	N. 1	7.1	0	0	0	0	14.8	...	....
7	32.4	31.8	31.9	31.69	+ 4.18	31.0	32.4	N. 0	N. 1	WNW. 0	N. 1	5.1	0	1	0	1	14.4	...	....
8	34.2	33.5	32.8	33.24	+ 5.70	32.8	34.3	W. 0	N. 1	N. 0	N. 1	3.1	0	1	0	1	13.7	...	....
9	33.6	32.1	31.7	32.51	+ 4.95	30.6	33.6	NW. 0	N. 1	NNE. 1	NNE. 1	4.8	0	1	0	0	**14.9**	...	....
10	31.5	30.2	30.3	30.69	+ 3.11	29.6	31.5	NNE. 1	NNE. 2	NNE. 3	NNE 2	**22.7**	4	1	0	1	13.1	...	....
11	32.9	32.3	30.8	31.82	+ 4.22	30.6	33.0	NNE. 1	NNE. 2	NNE. 2	NNE. 2	17.7	1	0	0	0	14.7	...	....
12	31.7	30.7	30.1	30.72	+ 3.09	29.6	31.8	N 1	N. 2	NW. 1	NNE. 1	8.3	0	0	0	0	14.6	...	....
13	31.2	30.0	29.7	30.25	+ 2.60	29.1	31.3	W. 0	NNE. 1	NNE. 1	NNE. 1	4.6	2	3	4	4	9.4	...	....
14	30.3	28.9	29.3	29.44	+ 1.77	28.3	30.3	NNE. 0	N. 2	NNE. 1	NNE. 1	7.7	0	7	0	3	10.3	...	....
15	29.3	27.6	28.2	28.40	+ 0.71	27.0	29.4	NE. 1	NNE. 2	WNW. 0	NNE. 1	6.5	0	3	0	2	12.5	0.5	1
16	27.7	26.0	26.0	26.69	− 1.02	25.4	28.1	WNW. 1	N. 1	ESE. 1	NW. 1	4.2	0	4	0	2	13.7	...	....
17	25.7	24.5	24.5	24.99	− 2.74	23.8	26.0	SE. 0	N. 1	NW. 0	N. 1	3.8	0	0	0	0	14.2	...	....
18	25.9	25.4	26.3	25.68	− 2.06	24.8	27.5	WNW. 0	SW. 1	WSW. 0	var.	2.9	0	1	0	2	13.6	...	....
19	28.8	29.4	30.5	29.28	+ 1.52	27.6	31.0	SW. 0	WSW. 1	N. 0	var.	3.1	2	9	6	6	7.1	..	....
20	31.8	31.2	32.1	31.45	+ 3.67	30.5	32.6	W. 0	NNE. 2	NNE. 2	NNE. 1	10.0	0	1	0	1	14.1	...	....
21	33.9	33.2	33.2	33.22	+ 5.43	32.7	34.0	NW. 1	N. 1	NNE 1	N. 1	6.9	0	0	0	0	14.1	...	....
22	34.1	33.3	32.2	33.13	+ 5.32	31.7	34.2	WSW. 0	N. 1	NW. 1	N. 1	5.1	0	0	0	0	14.2	..	....
23	32.6	30.8	30.8	31.41	+ 3.59	29.7	32.6	WNW. 0	N. 1	SSE. 1	N 1	2.9	0	2	3	2	12.9	..	....
24	30.2	28.0	29.7	29.19	+ 1.35	27.0	30.6	SSW. 0	SSW. 1	SE. 2	var	3.3	0	3	10	5	10.9	...	....
25	29.0	27.3	26.5	27.94	+ 0.09	26.0	30.5	ENE 1	N. 1	W. 1	var.	5.8	0	1	2	1	14.1	...	....
26	28.2	27.0	27.7	27.23	− 0.63	26.4	28.4	NW. 1	SSW. 1	SW. 1	SSW. 1	6.3	1	1	8	2	13.8	...	....
27	29.4	28.7	29.1	28.70	+ 0.83	28.0	29.4	SW. 1	N. 1	W. 1	N. 1	5.1	1	1	8	4	14.2	.	....
28	31.4	29.6	31.2	30.07	+ 2.18	28.5	31.5	SSW. 1	WNW. 1	NNE. 2	var.	6.7	9	3	7	6	9.8	..	...
29	30.3	28.7	27.7	29.31	+ 1.41	27.0	31.6	SE. 0	N. 1	ESE. 1	N 1	4.8	0	1	2	2	12.9	...	....
30	28.2	26.7	25.6	27.04	− 0.87	25.2	28.4	SW. 1	NNW. 1	NW. 0	var.	5.2	1	2	10	5	10.9	**4.3**	1
31	26.7	25.8	26.1	26.19	− 1.73	25.6	26.8	N. 1	N 1	WNW. 1	N. 1	4.6	2	5	6	4	8.7	..	....
Mois	30.44	29.45	29.57	29.72	+ 2.07							7.04	1.5	2.3	2.5	2.3	388.5	4.8	2

GENÈVE — JUILLET 1911

Jour du mois	Température							Fraction de Saturation en %							Tempér. du Rhône		Limnimètre
	7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Observ.	Ecart avec la normale	Min.	Max.	7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Min.	Max.	Midi	Ecart avec la normale	
	°	°	°	°	°	°	°								°	°	mm.
1	+23.0	+29.0	+24.0	+25.11	+ 6.92	+19.5	+30.9	56	30	67	53	-16	28	78	16.2	- 0.7	1500
2	21.8	26.5	20.9	22.94	+ 4.66	19.0	28.0	62	50	59	57	-12	45	70	....	.....	1505
3	16.0	21.4	17.0	18.51	+ 0.17	15.0	23.0	71	46	53	57	-12	15	71	16.2	- 0.7	1545
4	13.2	16.9	16.7	**15.40**	**- 3.00**	11.9	20.4	65	60	67	66	- 3	60	82	16.0	- 1.2	1590
5	14.5	20.4	18.3	16.46	- 1.99	**10.5**	22.2	66	59	50	67	- 1	48	90	17.0	- 0.2	1565
6	16.3	21.5	20.3	18.13	- 0.37	11.7	23.9	64	51	68	63	- 5	45	85	17.7	+ 0.4	1555
7	18.4	22.0	20.4	19.70	+ 1.16	13.9	25.8	72	56	70	65	- 3	50	85	18.3	+ 0.9	1555
8	18.7	24.3	22.1	20.91	+ 2.35	13.5	27.9	65	49	75	60	- 8	35	87	19.1	+ 1.6	1570
9	19.9	27.2	21.4	21.71	+ 3.08	14.0	28.8	71	42	58	59	- 9	36	90	....	....	1575
10	17.7	21.5	18.9	18.76	+ 0.09	14.0	22.2	65	47	50	58	-10	35	84	19.2	+ 1.6	1585
11	15.2	20.6	19.7	18.01	- 0.69	11.5	23.4	57	50	50	51	-14	40	75	19.4	+ 1.7	1605
12	16.8	23.3	20.5	19.69	+ 0.96	13.0	25.4	61	44	50	56	-12	40	70	19.1	+ 1.3	1585
13	19.0	24.0	20.3	19.85	+ 1.09	13.6	26.9	69	49	62	65	- 3	45	85	19.1	+ 1.3	1565
14	17.5	22.8	20.0	19.70	+ 0.91	13.3	25.6	77	62	62	**68**	**0**	42	92	19.3	+ 1.4	1555
15	17.4	26.3	18.7	19.35	+ 0.54	12.5	27.6	74	38	78	**68**	**0**	35	90	19.5	+ 1.5	1575
16	16.3	26.7	20.5	20.46	+ 1.63	12.0	30.1	75	38	60	62	- 6	30	89	....	.....	1575
17	16.2	25.5	20.5	20.05	+ 1.20	12.4	27.0	73	37	55	56	-12	30	88	19.9	+ 1.8	1545
18	17.6	28.5	21.4	21.52	+ 2.65	11.6	31.0	60	21	55	50	-18	**15**	94	20.6	+ 1.9	1555
19	19.2	28.0	21.8	21.69	+ 2.81	14.5	29.0	64	31	58	54	-14	25	90	20.5	+ 2.3	1540
20	18.0	28.1	22.8	21.74	+ 2.85	13.8	30.0	70	23	54	57	-11	17	96	20.3	+ 2.0	1545
21	19.5	26.3	23.3	21.93	+ 3.04	15.6	28.4	60	43	55	60	- 8	12	90	20.3	+ 2.0	1570
22	20.2	26.0	23.1	22.11	+ 3.21	15.4	28.0	71	47	67	64	- 4	45	95	21.0	+ 2.6	1585
23	20.1	27.0	25.3	23.43	+ 4.53	16.1	30.0	71	58	57	65	- 3	44	**97**	...	.....	1595
24	22.3	33.6	23.5	24.70	+ 5.81	18.2	**36.1**	61	27	59	60	- 8	25	92	22.0	+ 3.6	1615
25	21.1	26.7	24.4	24.15	+ 5.26	16.5	32.8	73	62	69	65	- 3	28	95	22.0	+ 3.5	1665
26	23.4	31.7	25.3	**26.42**	+ **7.54**	19.5	33.7	62	24	40	**48**	**-20**	18	95	21.8	+ 3.3	1655
27	21.9	28.7	26.3	25.26	+ 6.39	19.0	31.8	57	33	50	**48**	**-20**	25	88	21.3	+ 2.7	1660
28	21.9	27.1	21.4	23.73	+ 4.88	18.9	31.5	62	41	67	56	-12	35	84	21.7	+ 3.1	1660
29	20.2	25.1	24.0	22.30	+ 3.46	15.4	28.8	68	57	54	62	- 6	37	92	21.7	+ 3.1	1645
30	22.1	28.2	25.0	24.46	+ 5.61	17.8	30.5	64	40	56	57	-11	40	85	....	...	1665
31	+20.9	+27.8	+23.4	+23.16	+ 4.67	+17.8	+28.4	79	41	62	66	- 2	38	90	22.4	+ 3.7	1650
Mois	+18.93	+25.57	+21.65	+21.35	+ 2.51	+14.88	+28.04	67	44	59	60	- 8			20.70	+2.61	1586

MOYENNES DE GENÈVE. — JUILLET 1911

Correction pour réduire la pression atmosphérique de Genève à la pesanteur normale : + 0mm.02. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 700mm +

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re déc.	31.01	31.01	31.44	31.30	30.77	30.19	30.28	31.21	30.90
2e »	28.97	29.21	29.52	29.31	28.62	28.07	28.34	28.95	28 87
3e »	30.00	30.13	30.38	30.04	29.01	28.22	28.18	29.26	29.40
Mois	30.00	30.12	30.44	30.21	29.45	28.81	28 91	29.79	29.72

Température.

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
	°	°	°	°	°	°	°	°	°
1re déc	+16.22	+14.67	+17.95	+20.45	+23 07	+24.26	+22.63	+18.90	+19.77
2e »	15.62	13.59	17.32	21.55	25.38	25.63	23.19	19.37	20.21
3e »	20.55	18.05	21.29	24.89	28.02	28.14	26.39	23.18	23.81
Mois	+17.56	+15.52	+18.93	+22.38	+25.57	+26.08	+24.15	+20.57	+21.35

Fraction de saturation en %.

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
1re décade	72	80	66	54	49	47	51	65	61
2e »	76	84	68	54	39	36	50	64	59
3e »	75	86	66	52	43	45	48	59	59
Mois	74	84	67	53	44	43	50	62	60

Dans ce mois l'air a été calme 151 fois sur 1000.

Le rapport des vents $\frac{\text{NNE}}{\text{SSW}} = \frac{128}{27} = 4.74$

Moyennes des 3 observations (7h, 1h, 9h)

	mm
Pression atmosphérique........	29.82
Nébulosité..................	2.1
Température $\frac{7+1+9}{3}$..	+22°.05
Température $\frac{7+1+2\times 9}{4}$..	+21°.95
Fraction de saturation........	57 %

Valeurs normales du mois pour les éléments météorologiques, d'après Plantamour :

	mm
Press. atmosphér.. (1836-1875)	727.65
Nébulosité.. ..... (1847-1875).	4.4
Hauteur de pluie.. (1826-1875).	70mm.8
Nombre de jours de pluie. (id.). .	9
Température moyenne ... (id.).	+18°.81
Fraction de saturat. (1849-1875).	68 %

Observations météorologiques faites dans le canton de Genève

Résultats des observations pluviométriques

Station	Céligny	Collex	Chambésy	Chatelaine	Satigny	Athenaz	Compesières
Hauteur d'eau en mm.	3.5	2.6	5.2	5.6	2.3	2.4	4.1

Station	Veyrier	Observatoire	Cologny	Puplinge	Jussy	Hermance
Hauteur d'eau en mm.	4.5	4.8	4.4	2.4	3.4	6.3

Insolation à Jussy : 337 h. 9.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AU

GRAND SAINT-BERNARD

PENDANT LE MOIS DE

JUILLET 1911

Les 1, 4, 5, 6, 12 et 28 très fort vent.
10, 15 et 16 très forte bise.
19, 23,24, et 28 pluie.
17 et 27 clair pendant toute la journée.
Le 16 au matin dégel complet du lac.

GRAND SAINT-BERNARD — JUILLET 1911

Jour du mois	Pression atmosphérique 500mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Barographe Max	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Pluie Hauteur (24 h.)	Neige Hauteur (24 h.)
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.									mm.	cm.
1	69.0	69.1	68.7	68.9	+ 1.0	68.6	69.2	SW. 4	SW. 3	SW. 1	SW. 3	6	6	3	5	....	...
2	68.7	69.0	69.8	69.2	+ 1.3	68.7	70.1	SW. 1	SW. 2	SW. 1	SW. 1	8	10	8	9	....	....
3	70.5	71 8	73.4	71.9	+ 3.9	70.2	73.5	SW. 1	NE. 1	NE. 2	NE. 1	2	3	10	5	..	....
4	73.0	73.5	74.0	73.5	+ 5.5	73.0	74.1	SW. 1	SW. 3	SW. 2	SW. 2	8	10	0	6	....	...
5	73.7	74.1	73.3	73.7	+ 5 6	73.2	74.2	SW. 2	NE. 1	SW. 3	SW. 2	8	0	6	5	....	....
6	73.2	73.1	73.3	73.2	+ 5.1	73.0	73.3	SW. 3	SW. 2	SW. 1	SW. 2	6	10	4	7	....	....
7	72.7	73.5	74.5	73.6	+ 5.4	72.7	74.9	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	8	4	10	7	....	...
8	75.2	75.5	76.0	75.6	+ 7.4	74 6	76.0	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	4	3	0	2	....	....
9	75.2	74.8	74.1	74.7	+ 6.4	73.0	75.7	NE. 1	NE. 2	NE 1	NE. 1	0	0	3	1	....	....
10	71.5	72.1	71.4	71.7	+ 3.4	71.4	72.9	NE. 1	NE. 1	NE. 3	NE. 2	9	8	10	9	..	....
11	71.6	71.8	71.8	71 7	+ 3 4	71.5	71.9	NE 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	1	2	0	1	...	...
12	71.9	71 8	72.8	72.2	+ 3.8	71.8	72.9	SW. 2	SW. 2	SW. 3	SW. 2	6	3	6	5	....	...
13	72.4	72.1	71.5	72.0	+ 3.6	71.3	72.6	NE. 1	NE. 1	SW. 1	NE. 1	3	9	6	6	....	....
14	70 7	70.7	70.9	70.8	+ 2.3	70.7	71.0	NE. 1	NE. 2	NE 1	NE. 1	2	6	8	5	....	....
15	70.1	69.8	70.0	70.0	+ 1.5	69.8	70 6	NE. 1	NE. 3	NE. 2	NE. 2	6	6	5	6	...	....
16	70.0	68.7	68.2	69.0	+ 0.5	68.0	70.0	NE. 1	NE. 3	NE. 2	NE. 2	4	5	10	6	...	....
17	67.1	67.5	68.0	**67.5**	- **1.1**	**67.0**	68.0	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	0	0	0	0	...	....
18	67.8	69.0	70.4	69.1	+ 0.5	67.7	70.9	NE. 1	SW. 1	NE. 1	NE. 1	0	3	0	0	...	....
19	71.1	71.9	72.9	72.0	+ 3.4	71.0	73.0	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	9	9	10	9	6.2	....
20	73.1	73.5	74.9	73.8	+ 5.1	73.0	75.0	NE. 1	NE. 2	NE. 1	NE. 1	3	6	2	4	....	....
21	75.1	76.0	76.6	75.9	+ 7.2	75.0	76.6	NE. 1	SW. 1	NE. 1	NE. 1	0	1	0	0	....	....
22	76.5	76.6	76.8	**76.6**	+ **7.9**	76.5	**76.8**	SW. 1	SW. 1	NE. 1	SW. 1	0	6	0	2	...	...
23	76.0	76.0	75 7	75.9	+ 7.2	75.4	76.2	SW. 2	NE. 1	SW. 1	SW. 1	7	8	10	8	1.5	..
24	74.3	73.6	73.6	73.8	+ 5.0	73.3	74.9	SW. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	2	8	10	7	**14.8**	....
25	72.9	72 3	72.2	72.5	+ 3.7	72.0	73.2	SW. 1	SW. 1	SW. 2	SW. 1	6	5	0	4	....	....
26	71 9	71.5	72.3	71.9	+ 3.1	71.5	72 5	SW. 2	SW. 2	SW. 1	SW. 2	0	3	0	1	....	...
27	72.6	73.3	74.1	73.3	+ 4 5	72.5	74 2	SW. 1	SW 2	SW. 1	SW. 1	0	0	0	0	....	....
28	74.3	73 9	74.9	74.4	+ 5.6	73.8	74.9	SW. 1	SW. 3	SW. 2	SW. 2	5	6	3	5	2.5	..
29	73.2	73.7	73.7	73 5	+ 4.7	73.2	74.2	NE. 1	SW. 2	SW. 1	SW. 1	0	7	0	2	....	....
30	72.9	72.3	71 7	72.3	+ 3 4	71.5	73.1	NE. 1	NE. 1	SW. 2	NE. 1	0	7	8	5	...	....
31	71.1	70.6	70.8	70.8	+ 1.9	70.6	71.4	NE. 1	NE. 2	NE. 2	NE. 2	6	8	3	6	....	....
Mois	72.24	72.36	72.65	72.42	+ 3.94							3.8	5.2	4.4	4.5	25.0	....

Jour du mois	Température							Fraction de saturation en %					
	7 heures	1 heure	9 heures	Moyenne 3 Observ.	Ecart avec la normale	Minimum	Maximum	7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Min.	Max.
	°	°	°	°	°	°	°						
1	+ 9.6	+12.6	+10.8	+11.0	+ 5.6	+ 5.3	+13.2	46	40	37	**41**	32	57
2	9.1	12.0	7.2	9.4	+ 3.9	6.8	12.2	62	63	82	69	57	89
3	7.4	9.5	4.6	7.2	+ 1.7	4.5	10.4	57	74	95	75	42	96
4	6.6	8.6	6.2	7.1	+ 1.5	4.4	9.7	39	63	84	62	34	93
5	4.0	11.6	8.0	7.9	+ 2.3	4.0	12.2	91	43	69	68	41	95
6	4.2	10.8	8.8	7.9	+ 2.2	4.1	12.4	85	66	98	83	59	100
7	6.8	11.2	8.4	8.8	+ 3.1	6.2	11.5	91	58	90	80	50	94
8	8.0	12.9	8.6	9.8	+ 4.0	6.9	13.2	74	50	86	70	35	91
9	7.8	12.1	7.4	9.1	+ 3.3	7.0	13.1	61	36	84	60	27	89
10	5.1	9.6	5.0	6.6	+ 0.7	5.0	10.2	88	47	90	75	41	93
11	4.8	10.3	5.2	6.8	+ 0.9	**3.2**	10.9	71	57	86	71	46	91
12	4.0	8.2	6.8	**6.3**	+ **0.3**	3.9	10.2	75	58	58	64	44	82
13	6.8	9.8	5.8	7.5	+ 1.5	5.8	10.2	58	55	86	66	42	88
14	5.8	10.0	6.0	7.3	+ 1.2	5.4	11.2	77	63	75	72	46	83
15	5.0	10.8	5.4	7.1	+ 1.0	5.0	11.3	80	62	92	78	49	96
16	5.0	9.8	5.8	6.9	+ 0.8	4.6	11.2	90	52	96	79	39	99
17	4.6	11.1	7.1	7.6	+ 1.5	3.8	12.0	71	44	76	64	32	81
18	6.4	11.4	7.8	8.5	+ 2.3	5.0	12.9	51	29	53	44	27	60
19	8.0	11.6	6.0	8.5	+ 2.3	4.2	11.7	51	51	88	63	42	93
20	6.2	12.0	8.8	9.0	+ 2.7	6.0	12.8	81	64	86	77	51	90
21	8.1	13.0	11.0	10.7	+ 4.4	7.7	16.0	74	52	75	67	41	79
22	9.1	15.2	11.4	11.9	+ 5.6	9.1	16.3	84	46	72	67	40	88
23	9.8	13.9	11.2	11.6	+ 5.3	9.2	15.0	84	47	86	72	41	91
24	10.0	13.4	11.0	11.5	+ 5.2	9.2	13.8	76	51	79	69	42	85
25	9.2	13.8	11.0	11.3	+ 4.9	8.9	15.2	89	57	68	71	39	94
26	8.8	13.2	11.2	11.1	+ 4.7	8.3	15.4	52	43	68	54	31	76
27	9.0	14.3	12.0	11.8	+ 5.4	8.2	16.2	64	30	65	53	**19**	72
28	9.1	13.1	7.0	9.8	+ 3.4	7.0	15.4	54	48	84	62	32	89
29	9.2	14.0	12.1	11.8	+ 5.4	7.7	16.4	62	53	43	53	34	70
30	11.0	16.6	12.8	**13.5**	+ **7.1**	11.0	**17.2**	51	33	53	46	24	58
31	+ 9.1	+15.0	+ 9.8	+11.3	+ 4.9	+ 9.0	+15.8	88	80	85	**84**	67	93
Mois	+ 7.35	+11.98	+ 8.39	+ 9.24	+ 3.08	+ 6.34	+13.07	70	52	77	66		

MOYENNES DU GRAND SAINT-BERNARD. — JUILLET 1911

Correction pour réduire la pression atmosphérique du Grand Saint-Bernard à la pesanteur normale : — $0^{mm}.22$. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 500^{mm} + / **Fraction de saturation en %**

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
	mm	mm	mm	mm				
1re décade	72.27	72.65	72.85	72.59	69	54	81	68
2e »	70.58	70.68	71.14	70.80	70	53	80	68
3e »	73.71	73.62	73.85	73.73	71	49	71	64
Mois	72.24	72.36	72.65	72.42	70	52	77	66

Température.

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne. $\frac{7+1+9}{3}$	Moyenne. $\frac{7+1+2\times 9}{4}$
	°	°	°	°	°
1re décade	+ 6.86	+ 11.09	+ 7.50	+ 8.48	+ 8.24
2e »	5.66	10.50	6.47	7.54	7.28
3e »	9.34	14.14	10.95	11.48	11.34
Mois	+ 7.35	+ 11.98	+ 8.39	+ 9.24	+ 9.03

Dans ce mois l'air a été calme 0 fois sur 1000.

Le rapport des vents $\frac{NE}{SW} = \frac{62}{74} = 0.84$

Pluie et neige dans le Val d'Entremont.

Station	Martigny-Ville	Orsières	Bourg-St-Pierre	St-Bernard
Eau en millimètres....	42.0	?	20.5	25.0
Neige en centimètres..	—	—	—	—

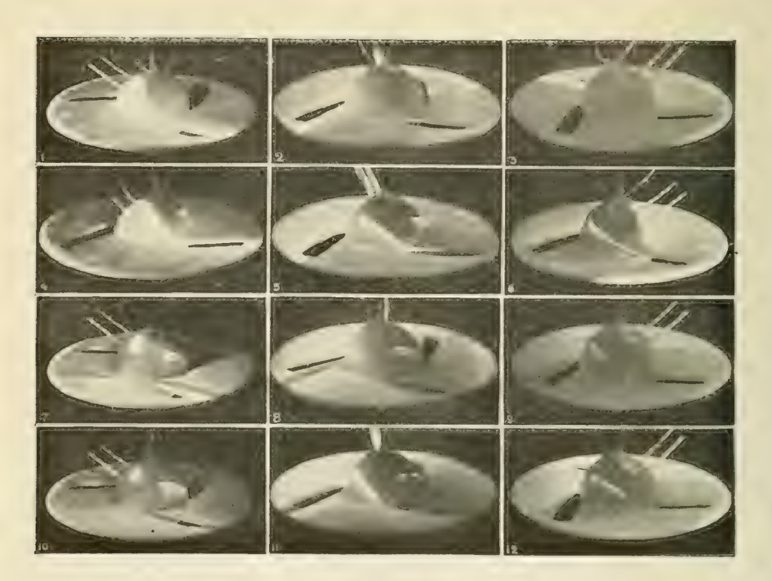


Fig. 21

Fig. 22

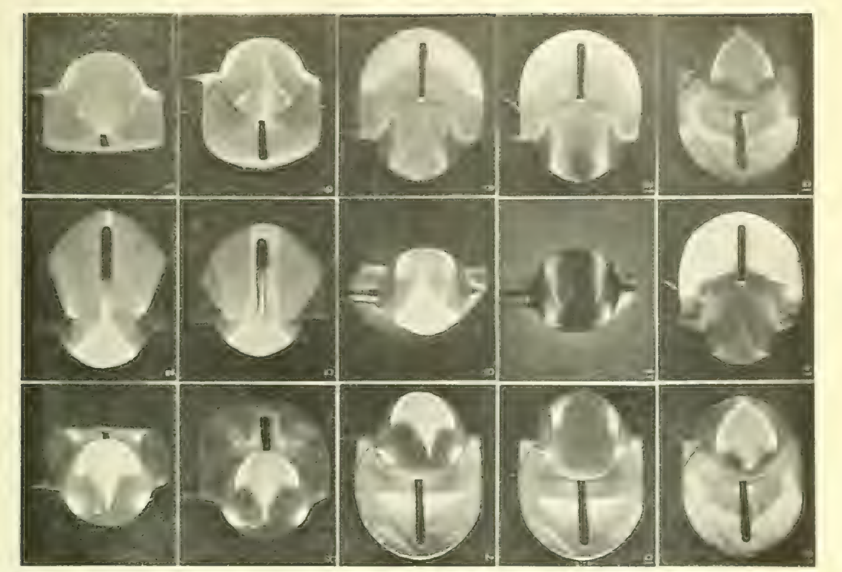


Fig. 23

Fig. 24



Fig. 17

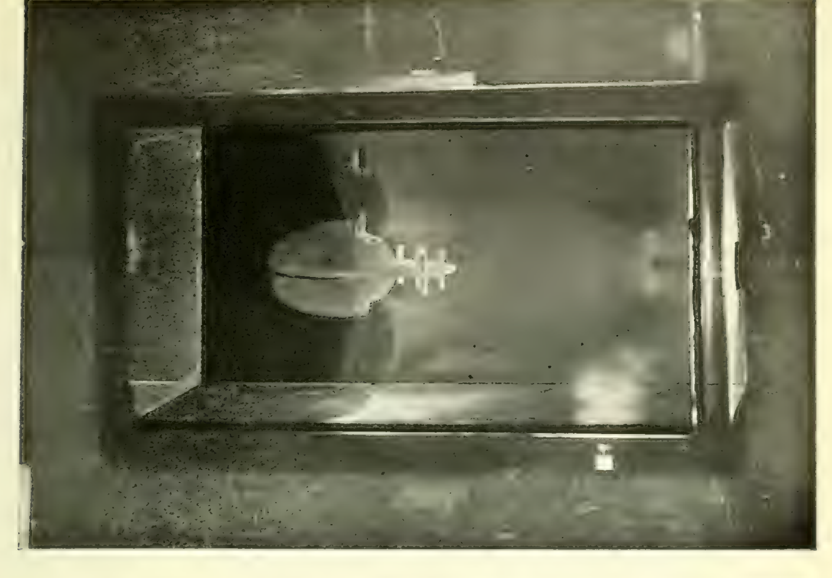


Fig. 18

ORAGES MAGNÉTIQUES

Fig. 25

Fig. 26



Fig. 27

LES CONCEPTIONS MODERNES

DE LA

NATURE DE L'ÉLECTRICITÉ

PAR

P. GRUNER

Conférence faite à la 2[me] assemblée générale
de la Société helvétique des Sciences naturelles à Soleure, le 2 août 1911

(Résumé)

Poincaré dit : Une théorie scientifique qui prétend nous apprendre ce que c'est que la chaleur, ou l'électricité ou la vie, est condamnée dès l'abord ; tout ce qu'elle peut donner n'est qu'une image grossière de la réalité ! — La science moderne est parfaitement d'accord avec ce jugement si vrai : jamais notre raison ne pourra sonder l'essence d'une chose quelconque et, si pourtant nous parlons ici de la « nature » de l'électricité, il s'agira seulement de faire une courte revue des représentations que la science nous donne, afin de nous permettre de rallier les phénomènes si nombreux de l'électricité dans une image unique.

Ces images ont constamment changé dans le courant des années. L'ancienne conception des fluides électriques impondérables qui agissaient par des forces instantanées à distance, ne suffit plus pour rendre compte du grand nombre de faits nouveaux. La théorie de Maxwell, si brillamment démontrée par Hertz, signifie un nouveau progrès dans nos conceptions théoriques sur la nature de l'électricité. Ce ne sont plus les métaux, les conducteurs du courant électrique, qui jouent le rôle principal dans le processus des phénomènes électriques, mais au contraire

les substances diélectriques ; c'est dans l'air par exemple, qui entoure tous nos fils électriques que se manifestent les forces magnétiques et électriques, souvent si formidables, et c'est là qu'elles se propagent avec la vitesse de la lumière de point en point par l'espace. C'est grâce à ces conceptions des champs électromagnétiques qu'il fut possible de comprendre les ondes électriques et d'entrevoir clairement leur complète identité qualitative avec les ondes lumineuses et thermiques. Alors seulement le terrain était préparé pour le développement de la télégraphie sans fil.

Mais pourtant l'image de ces forces se propageant dans toutes les directions dans l'éther ne put suffire à la longue et les dernières années virent éclore une nouvelle théorie, la théorie des électrons de H.-A. Lorentz.

Cette théorie distingue trois espèces de substances : 1° Les électrons, des particules infiniment petites, ayant chacune leur existence distincte, possédant une charge électrique invariable, que nous nommerons la charge élémentaire. Leur masse n'atteint peut-être pas même la deux-millième partie de la masse d'un atome d'hydrogène, leur diamètre comporte environ un trillionième d'un millimètre. Ce sont ces électrons qui sont les centres de toutes les actions électromagnétiques, ce sont eux qui représentent l'essence de cette chose inconnue que nous nommons l'électricité. 2° L'éther encore plus mystérieux que les électrons, n'est au fond que l'image du vide absolu, remplissant d'une manière continue tout l'espace, restant toujours immobile et invariable. Son rôle unique est celui de servir de moyen de transport aux forces électromagnétiques qui émanent constamment des électrons. 3° Les atomes matériels, avec leur nombreux groupements en molécules matérielles, sont au fond électriquement indifférents. Ce n'est qu'en s'accouplant à des électrons qu'ils entrent en jeu avec les forces électromagnétiques de l'éther et qu'ainsi ils déterminent selon le mode d'accouplement les innombrables phénomènes électriques et optiques.

Dans les diélectriques, dans le verre par exemple, ces électrons sont liés aux atomes du verre par des forces ayant la nature de forces élastiques. Si un rayon de lumière, c'est-à-dire

une onde électromagnétique, pénètre dans ce verre, ces électrons seront mis en mouvement, ils oscilleront autour de leur position d'équilibre, et l'étude de ces oscillations et de leurs réactions sur l'onde lumineuse nous permettra de déduire toutes les lois de l'optique. Par contre un morceau de verre chauffé à une haute température, verra ses électrons vibrer d'eux-mêmes d'une façon toujours plus énergique et par là émettra des ondes électromagnétiques, c'est-à-dire de la lumière et ainsi le mécanisme du processus d'émission lumineuse devient accessible à une étude théorique.

Dans les conducteurs électriques, les métaux, les électrons se comportent d'une toute autre manière. Ici ils sont libres de se mouvoir dans l'espace entre les molécules métalliques. Avec une grande vitesse ils parcourront cet espace s'entrechoquant continuellement et obéissant ainsi exactement aux lois de la théorie cinétique des gaz. Leur mouvement moyen dans une certaine direction détermine le courant électrique, et l'énergie moyenne qu'ils transportent avec eux détermine le transport de chaleur dans le métal.

Enfin, dans certains corps, comme le fer par exemple, les électrons tournent autour d'un atome comme la terre tourne autour du soleil. Ce mouvement de révolution engendre des forces magnétiques: un atome de ce genre se comporte donc comme un aimant élémentaire et forme ainsi la base de toute la théorie du magnétisme.

Ce sont ces rapports entre les électrons en rotation et les forces magnétiques qui expliquent le phénomène si intéressant, que Zeeman a observé en 1896 et qui constitue une des démonstrations les plus importantes en faveur de la théorie des électrons. Une vapeur métallique incandescente, contenant des électrons capables d'osciller autour des atomes, doit nécessairement être influencée par un champ magnétique suffisamment puissant. De fait le spectre d'une pareille vapeur est modifié par un fort aimant et les modifications suivent exactement les lois formulées par la théorie de Lorentz.

Les résultats les plus frappants de la conception électronique ont été obtenus dans le domaine des radiations nouvelles. Les rayons cathodiques se révèlent comme étant formés d'un flux

d'électrons négatifs émis en grande quantité et avec une vitesse énorme par la cathode. Dans ces rayons, ainsi que dans les rayons β du radium qui ont absolument la même nature, l'électron négatif, ce type de la substance électrique par excellence, paraît donc complètement libéré. Les belles expériences et les mesures très exactes effectuées sur ces rayons ont démontré, que les corpuscules dont ils sont formés ont la même masse que les électrons des diélectriques et que ceux des métaux, mais que leur masse dépend essentiellement de la vitesse avec laquelle ils sont expulsés. Cette dernière constatation, contrastant avec les idées ordinaires de l'invariabilité des masses, pose de tout nouveaux problèmes qui sont en train de modifier à fond les conceptions fondamentales de la mécanique classique.

La grande question qui résume les nombreuses expériences faites à ce sujet est celle-ci : L'éther qui remplit uniformément tout l'espace, y compris les atomes matériels et les électrons, prend-il part aux mouvements de ceux-là, ou bien reste-t-il imperturbablement immobile? Ce qui revient à se demander, si les phénomènes électriques, magnétiques et optiques, observés dans des corps en mouvement, dépendent du mouvement absolu de ces corps ou seulement du mouvement relatif d'un corps vis-à-vis des autres.

Lorentz admet l'existence de cet éther immobile, représentant de l'espace absolu, en opposition à la théorie de Hertz et de Maxwell qui n'acceptaient pas cette notion. Des expériences intéressantes et concluantes (faites par Röntgen, Eichenwald, etc.) ont donné raison à la théorie de Lorentz et démontré l'insuffisance de celle de Hertz.

Néanmoins l'existence de cet éther absolu semble être fortement mise en doute par une autre série d'expériences de très grande importance, dans lesquelles il s'agissait de constater, si le mouvement de la terre relativement au soleil (30 kilomètres par seconde) influençait les phénomènes électriques, magnétiques ou optiques sur notre terre, ou non. La conception de Lorentz, exige que ce mouvement puisse être démontré par des expériences purement terrestres qui, à vrai dire, doivent être d'une délicatesse extrême. Les mesures décisives de Michelson et Morley ont donné une réponse négative : il paraît impossible

d'établir directement le mouvement de la terre autour du soleil : à plus forte raison il est impossible de se rendre compte du mouvement de notre planète dans l'espace absolu, c'est-à-dire dans l'éther de Lorentz.

Lorentz a bien su trouver un moyen de concilier sa théorie avec ces derniers résultats, mais seulement grâce à une hypothèse extrêmement audacieuse : l'hypothèse que chaque corps, même le plus rigide, subit une petite contraction dès qu'il est mis en mouvement !

Il semble plus naturel de suivre les traces de la théorie de la relativité, formulée par Einstein, qui, écartant toute idée d'absolu, réussit à réconcilier le beau système de Lorentz avec les exigences des observations, en renonçant une fois pour toutes à cet éther qui toujours échappait à nos investigations.

Quelles que soient les conceptions définitives concernant des problèmes si troublants, il est pourtant satisfaisant de constater que la théorie des électrons nous offre une image très correcte et très complète de nos connaissances actuelles des phénomènes électriques, optiques et magnétiques, et qu'ainsi pas à pas la recherche de la « nature » de l'électricité nous conduit à des horizons toujours plus étendus et plus vastes.

SUR LES TRAJECTOIRES

DES CORPUSCULES ÉLECTRISÉS DANS L'ESPACE

sous l'action du magnétisme terrestre

avec application aux aurores boréales, etc.

(Second mémoire [1])

PAR

Carl STÖRMER

(Suite [2])

PREMIÈRE PARTIE

Court résumé des recherches sur les trajectoires des corpuscules électriques, en admettant pour le champ terrestre l'hypothèse de Gauss.

1. *Formules de M. Carlheim-Gyllenskóld.*

Comme nous l'avons dit dans l'introduction, nous avons fait le calcul des trajectoires dans le cas aussi, où l'on applique les formules du magnétisme terrestre, d'après la théorie de Gauss. Ces calculs étaient d'une nature beaucoup plus compliquée que les calculs des trajectoires dans le cas d'un aimant élémentaire et les difficultés numériques étaient presque insurmontables.

Il s'agissait d'abord des formules complètes pour le champ magnétique terrestre d'après la théorie de *Gauss* que les masses magnétiques sont exclusivement placées *à l'intérieur de la terre* (c'est-à-dire au-dessous de la surface terrestre).

[1] Pour le premier mémoire, voir *Archives,* 1907, t. XXIV, p. 5, 113, 221, 317.

[2] Voir *Archives*, août 1911, p. 117.

Nous avons alors suivi *M. Carlheim-Gyllensköld* et, à l'aide de ses formules, calculé les constantes nécessaires, en choisissant pour époque *l'année 1900.*

Développons d'abord les formules en question :

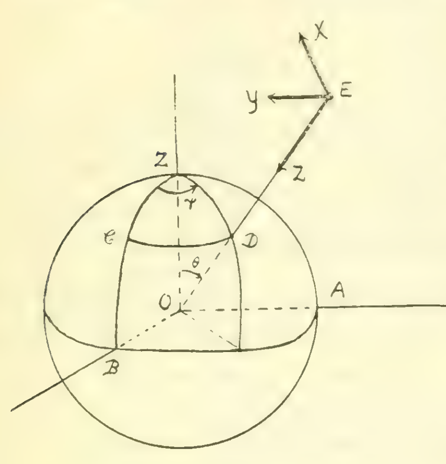


Fig. 1

Soit O le centre de la terre et Z pôle nord; ensuite, ZCB le méridien passant par Greenwich et OAB le plan de l'équateur.

Cela posé pour un point E de l'espace, on choisit comme coordonnées :

r, la distance OE,

ψ, la longitude comptée de 0 à 360° vers l'est, à partir du méridien de Greenwich,

θ, l'angle ZOE.

Les trois composantes X, Y et Z de la force magnétique au point E sont définies comme il suit :

X est situé dans le plan méridien, est normal à la direction OE et sera compté positif vers le nord.

Y est parallèle au plan équatorial, normal à la direction OE et sera compté positif vers l'ouest.

Z est dirigé le long de EO et sera compté positif vers O.

Cela posé, on a

$$\left.\begin{aligned} X &= \frac{\sqrt{1-\mu^2}}{r}\frac{\partial V}{\partial \mu} \\ Y &= -\frac{1}{r\sqrt{1-\mu^2}}\frac{\partial V}{\partial \psi} \\ Z &= -\frac{\partial V}{\partial r} \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

où $\mu = \cos\theta$ et où V est le potentiel magnétique, défini par le développement en série

$$V = \frac{R^3}{r^2}Y^{(1)} + \frac{R^4}{r^3}Y^{(2)} + \ldots + \frac{R^{n+2}}{r^{n+1}}Y^{(n)} + \ldots . \qquad (2)$$

Dans cette série, R est le rayon de la terre et les $Y^{(n)}$ sont les fonctions de Laplace.

Toutes réductions faites, on arrive finalement aux expressions suivantes pour les composantes X, Y et Z de la force magnétique au point E :

$$\begin{aligned} X &= X_1\left(\frac{R}{r}\right)^3 + X_2\left(\frac{R}{r}\right)^4 + \ldots + X_n\left(\frac{R}{r}\right)^{n+2} + \ldots \\ Y &= Y_1\left(\frac{R}{r}\right)^3 + Y_2\left(\frac{R}{r}\right)^4 + \ldots + Y_n\left(\frac{R}{r}\right)^{n+2} + \ldots \\ Z &= Z_1\left(\frac{R}{r}\right)^3 + Z_2\left(\frac{R}{r}\right)^4 + \ldots + Z_n\left(\frac{R}{r}\right)^{n+2} + \ldots \end{aligned} \qquad \text{(I)}$$

Les X_n, Y_n et Z_n sont définis par les formules :

$$X_n = B_o^{(n)} P_o^{(n)} + \sum_{k=1}^{k=n} \left(A_k^{(n)} \sin k\psi + B_k^{(n)} \cos k\psi\right) P_k^{(n)}$$

$$Y_n = \sum_{k=1}^{k=n} \left(-B_k^{(n)} \sin k\psi + A_k^{(n)} \cos k\psi\right) Q_k^{(n)}$$

$$Z_n = B_o^{(n)} R_o^{(n)} + \sum_{k=1}^{k=n} \left(A_k^{(n)} \sin k\psi + B_k^{(n)} \cos k\psi\right) R_k^{(n)}$$

où

$$P_k^{(n)} = \sqrt{1-\mu^2}\,\frac{\partial \Omega_k^{(n)}}{\partial \mu}, \quad Q_k^{(n)} = -\frac{k}{\sqrt{1-\mu^2}}\,\Omega_k^{(n)}, \quad R_k^{(n)} = (n+1)\Omega_k^{(n)},$$

avec l'expression suivante pour la fonction $\Omega_k^{(n)}$:

$$\Omega_k^{(n)} = (1-\mu^2)^{\frac{k}{2}} \mu^{n-k} \Bigg\{ 1 - \frac{(n-k)(n-k-1)}{2.(2n-1)}\mu^{-2} + \frac{(n-k)(n-k-1)(n-k-2)(n-k-3)}{2.4.(2n-1)(2n-3)}\mu^{-4} +$$
$$+ \ldots + (-1)^{\lambda} \frac{(n-k)(n-k-1)\ldots(n-k-2\lambda+1)}{2.4\ldots 2\lambda.(2n-1)(2n-3)\ldots(2n-2\lambda+1)}\mu^{-2\lambda} + \ldots \Bigg\}$$

Enfin, les $A_k^{(n)}$ et $B_k^{(n)}$ sont des constantes, qu'on peut déterminer avec plus ou moins d'approximation par des observations magnétiques distribuées sur toute la surface de la terre. Par un travail immense[1], M. Carlheim-Gyllensköld a réussi à déterminer ces constantes pour une série d'années depuis 1600 jus-

[1] Voir : Sur la forme analytique de l'attraction magnétique de la terre exprimée en fonction du temps, dans les *Annales de l'Observatoire de Stockholm,* Tome V, 1896, et Note sur le potentiel magnétique de la terre exprimé en fonction du temps, *Arkiv för Matematik, Astronomi ock Fysik,* Band 3, n° 7.

J'ai constaté les omissions suivantes dans ces travaux : Dans la for-

qu'à 1885, ce qui l'a conduit à exprimer ces constantes *comme fonctions du temps.*

Posons :

$$\left.\begin{aligned} A_k^{(n)} &= -\alpha_k^{(n)} \sin k\beta_k^{(n)} \\ B_k^{(n)} &= \alpha_k^{(n)} \cos k\beta_k^{(n)} \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

En mesurant la force magnétique d'après le système C.G.S. les valeurs des constantes $\alpha_k^{(n)}$ et $\beta_k^{(n)}$ comme fonctions du temps se trouvent dans le second des mémoires cités.

Pour l'application que j'avais en vue, j'ai calculé les valeurs de $A_k^{(n)}$ et $B_k^{(n)}$ pour $n \leqq 6$, d'après ces formules de M. Carlheim-Gyllensköld pour l'année 1900. En voici le résultat :

$n = 1$

k	0	1
$10^5 A_k^{(n)}$	0	−5980
$10^5 B_k^{(n)}$	32286	2078

$n = 2$

k	0	1	2
$10^5 A_k^{(u)}$	0	839	−1238
$10^5 B_k^{(n)}$	43	−4439	− 976

mule pour V, le facteur R^2 a été oublié dans le premier mémoire. Dans les formules pour $Y_n^{(i)}$ on a toujours oublié le facteur

$$\frac{1.2.3....(i-n)}{1.3.5....(2i-1)}$$

au second membre.

Ces fautes n'ont cependant pas d'influence sur les calculs des constantes, et les formules spéciales, p. 13 du premier mémoire, sont aussi exactes.

$n = 3$

k	0	1	2	3
$10^5 A_k^{(n)}$	0	527	− 286	−465
$10^5 B_k^{(n)}$	−1943	3369	−2631	−385

$n = 4$

k	0	1	2	3	4
$10^5 A_k^{(n)}$	0	−1215	884	324	134
$10^5 B_k^{(n)}$	−2646	−4144	−2086	644	−21

$n = 5$

k	0	1	2	3	4	5
$10^5 A_k^{(n)}$	0	2500	254	308	137	−19
$10^5 B_k^{(n)}$	256	−3118	−2638	−42	88	−94

$n = 6$

k	0	1	2	3	4	5	6
$10^5 A_k^{(n)}$	0	− 660	−898	517	268	−184	2
$10^5 B_k^{(n)}$	−858	−1391	822	1330	134	− 44	27

Les coefficients une fois calculés, il s'agissait de calculer les fonctions X_n, Y_n et Z_n pour un nombre assez grand de systèmes de valeurs des angles ψ et θ. En dessinant alors des planches représentant graphiquement les résultats du calcul, on pouvait aisément pour chaque système de valeurs ψ et θ, trouver les valeurs correspondantes des fonctions X_n, Y_n et Z_n, et r étant donné, en déduire les valeurs correspondantes des composantes X, Y et Z de la force magnétique au point considéré. Dans ce qui suit, nous allons donner les détails du procédé de calcul.

2. *Sur le calcul des fonctions* X_n, Y_n *et* Z_n, pour $n \leqq 6$,

$$0^\circ \leqq \psi \leqq 45^\circ \text{ et } 0^\circ \leqq \theta \leqq 35^\circ.$$

Dans les calculs, nous nous sommes servis exclusivement de la machine à calculer appelée *Brunsviga*, construite d'après des idées de *M. Odhner*.

Même avec cette machine, les calculs indiqués plus haut ont pris plus de 300 heures.

Nous avons d'abord calculé des tables pour chaque terme dans les expressions des fonctions X_n, Y_n et Z_n, et cela pour

$$\psi = 0^\circ,\ 5^\circ,\ 10^\circ,\ 15^\circ,\ \ldots\ 40^\circ,\ 45^\circ$$
$$\theta = 0^\circ,\ 5^\circ,\ 10^\circ,\ 15^\circ,\ \ldots\ 30^\circ \text{ et } 35^\circ$$

et aussi pour les mêmes valeurs de ψ et chaque degré de θ entre 10° et 35°, pour $n = 2$, 3, 4, 5 et 6.

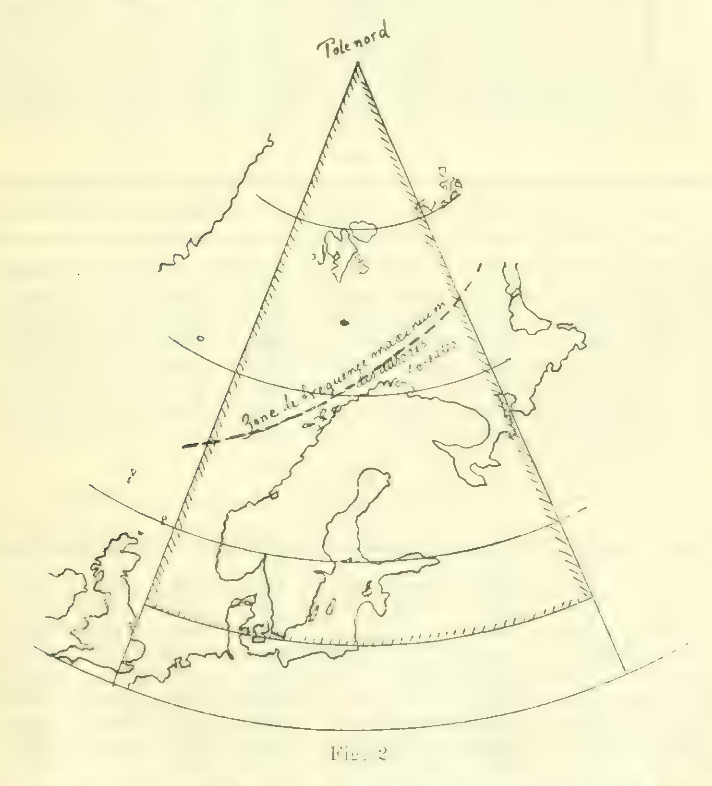


Fig. 2

Cela correspond à la partie de la terre indiquée sur la fig. 2.

Pour les calculs, nous avons eu beaucoup de profit d'une série de tables des fonctions $P_k^{(n)}$, $Q_k^{(n)}$ et $R_k^{(n)}$ que M. Carlheim-Gyllensköld a eu l'obligeance de nous prêter [1].

Quant aux fonctions X_1, Y_1 et Z_1, on les calcule à l'aide des formules

$$10^5X_1 = 32286 \sin\theta - 6331 \cos(\psi + 70°,837) \cos\theta$$
$$10^5Y_1 = 6331 \sin(\psi + 70,837)$$
$$10^5Z_1 = 64572 \cos\theta + 12662 \cos(\psi + 70°,837) \sin\theta$$

Pour les autres fonctions, nous avons obtenu les résultats suivants :

10^5X_2

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	4439	4349	4226	4071	3884	3668	3424	3155	2861	2546
5	4548	4494	4401	4270	4100	3893	3650	3374	3065	2729
10	4520	4504	4445	4341	4192	3999	3766	3492	3179	2831
15	4354	4378	4353	4281	4157	3987	3767	3503	3194	2845
20	4055	4115	4126	4088	3996	3850	3654	3408	3112	2775
25	3634	3731	3775	3771	3713	3597	3429	3208	2936	2618
30	3102	3229	3310	3340	3316	3235	3099	2910	2669	2382
35	2475	2632	2744	2890	2820	2775	2677	2526	2323	2074

10^5X_3

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	−2695	−2722	−2728	−2712	−2677	−2620	−2545	−2450	−2336	−2204
5	−2549	−2570	−2587	−2596	−2601	−2599	−2585	−2565	−2535	−2486
10	−2227	−2236	−2258	−2292	−2335	−2385	−2443	−2501	−2554	−2604
15	−1755	−1751	−1772	−1823	−1903	−2007	−2129	−2266	−2410	−2556
20	−1173	−1145	−1168	−1228	−1337	−1485	−1669	−1879	−2108	−2345
25	− 526	− 473	− 481	− 553	− 681	− 866	−1100	−1372	−1671	−1985
30	145	220	222	154	13	− 194	− 460	− 778	−1131	−1506
35	781	879	897	837	698	481	197	− 145	− 528	− 941

10^5X_4

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	2368	2420	2453	2466	2463	2439	2398	2338	2260	2165
5	2011	2030	2027	1998	1948	1874	1783	1673	1546	1405
10	1397	1382	1340	1273	1186	1078	955	815	666	505
15	594	541	467	372	263	139	6	− 154	− 281	− 433
20	− 311	− 399	− 498	− 606	− 723	− 838	− 956	−1072	−1188	−1299
25	−1220	−1333	−1447	−1554	−1655	−1745	−1825	−1893	−1947	−1999
30	−2029	−2158	−2270	−2364	−2435	−2482	−2503	−2504	−2486	−2454
35	−2646	−2776	−2877	−2943	−2972	−2963	−2918	−2841	−2737	−2618

[1] Comme aides, j'avais Mlle Aslaug-Gröntvedt et M. Arthur Thuesen, étudiant. La dépense a été défrayée par la fondation « Nansenfondet ».

$10^5 X_5$

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	1188	1098	1005	901	790	674	553	427	298	166
5	1431	1337	1231	1108	970	825	665	501	332	160
10	1420	1336	1233	1109	969	815	651	477	301	123
15	1159	1093	1007	902	781	649	506	357	209	59
20	685	645	588	518	437	349	264	164	73	— 14
25	78	65	45	20	— 7	— 34	— 55	— 72	— 80	— 82
30	— 558	— 543	— 524	— 503	—472	—429	—375	—303	—223	—133
35	—1104	—1067	—1017	— 955	—872	—769	—643	—496	—333	—154

$10^5 X_6$

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	337	350	360	367	372	374	372	368	361	352
5	106	129	154	177	199	223	245	263	279	287
10	—186	—164	—132	— 93	— 51	— 5	43	91	144	171
15	—462	—447	—418	—377	—321	—258	—187	—113	— 41	24
20	—641	—645	—626	—589	—534	—461	—386	—299	—210	—125
25	—671	—694	—692	—672	—629	—572	—501	—421	—338	—252
30	—537	—570	—590	—587	—571	—542	—503	—451	—395	—334
35	—264	—301	—331	—352	—370	—379	—385	—385	—377	—361

$10^5 Y_2$

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	—839	—1223	—1597	—1959	—2306	—2636	—2947	—3233	—3496	—3732
5	—620	—1036	—1446	—1850	—2241	—2617	—2975	—3306	—3614	—3888
10	—396	— 840	—1284	—1727	—2160	—2580	—2980	—3355	—3702	—4014
15	—169	— 638	—1114	—1590	—2061	—2521	—2963	—3379	—3763	—4110
20	59	— 432	— 933	—1442	—1947	—2445	—2924	—3376	—3795	—4175
25	286	— 222	— 747	—1281	—1819	—2348	—2861	—3347	—3799	—4207
30	511	— 9	— 554	—1112	—1676	—2235	—2779	—3294	—3774	—4208
35	733	202	— 358	— 935	—1520	—2105	—2673	—3216	—3719	—4177

$10^5 Y_3$

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	—422	—185	53	291	526	757	983	1200	1410	1608
5	—379	—205	— 51	103	262	426	594	766	942	1121
10	—266	—206	—147	— 81	— 6	79	181	298	436	592
15	—150	—187	—224	—257	— 275	— 273	— 244	— 187	— 93	36
20	— 13	—148	—287	—419	— 532	— 619	— 668	— 674	— 629	— 529
25	141	— 90	—328	—562	— 772	— 950	—1078	—1149	—1155	—1089
30	307	— 17	—352	—682	— 987	—1255	—1463	—1600	—1657	—1625
35	480	71	—353	—776	—1172	—1523	—1809	—2009	—2117	—2119

$10^5 Y_4$

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	694	485	273	58	−157	−372	−583	−789	−990	−1183
5	544	291	40	−206	−445	−675	−891	−1095	−1283	−1456
10	361	83	−187	−446	−689	−920	−1131	−1323	−1491	−1639
15	158	−128	−399	−653	−885	−1097	−1288	−1456	−1599	−1721
20	−57	−330	−583	−813	−1014	−1197	−1355	−1488	−1603	−1693
25	−271	−517	−731	−916	−1075	−1211	−1324	−1419	−1497	−1561
30	−476	−674	−838	−966	−1067	−1146	−1206	−1254	−1298	−1331
35	−658	−797	−895	−958	−989	−1005	−1007	−1006	−1009	−1021

$10^5 Y_5$

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	−952	−1053	−1144	−1227	−1301	−1365	−1419	−1461	−1493	−1514
5	−962	−1111	−1249	−1376	−1486	−1582	−1659	−1716	−1753	−1777
10	−936	−1124	−1298	−1454	−1591	−1706	−1798	−1864	−1902	−1913
15	−876	−1089	−1283	−1458	−1608	−1730	−1824	−1887	−1921	−1927
20	−790	−1009	−1209	−1385	−1532	−1650	−1735	−1789	−1812	−1804
25	−683	−894	−1083	−1244	−1374	−1472	−1537	−1575	−1582	−1562
30	−568	−753	−919	−1051	−1151	−1220	−1258	−1270	−1255	−1224
35	−452	−609	−736	−831	−891	−921	−920	−901	−865	−820

$10^5 Y_6$

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	160	130	99	68	35	2	−30	−62	−94	−126
5	219	207	193	172	150	122	89	52	13	−31
10	239	256	270	274	273	263	239	205	161	104
15	215	270	319	360	389	402	396	371	326	261
20	156	248	338	413	479	519	535	522	481	412
25	73	196	320	429	523	589	628	631	599	532
30	−15	130	272	405	516	602	655	673	655	597
35	−88	62	210	343	459	552	613	640	634	592

$10^5 Z_2$

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86
5	−1093	−1075	−1047	−1008	−961	−907	−842	−772	−693	−607
10	−2283	−2256	−2207	−2139	−2051	−1943	−1816	−1671	−1510	−1336
15	−3448	−3421	−3361	−3270	−3146	−2991	−2804	−2590	−2348	−2081
20	−4552	−4535	−4473	−4368	−4215	−4019	−3777	−3496	−3174	−2818
25	−5561	−5564	−5511	−5400	−5228	−4996	−4706	−4364	−3969	−3526
30	−6444	−6477	−6440	−6332	−6149	−5892	−5564	−5167	−4704	−4183
35	−7176	−7246	−7235	−7139	−6954	−6682	−6322	−5881	−5358	−4767

$10^5 Z_3$

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	—3109	—3109	—3109	—3109	—3109	—3109	—3109	—3109	—3109	—3109
5	—2188	—2179	—2176	—2176	—2182	—2192	—2208	—2229	—2254	—2286
10	—1349	—1336	—1326	—1319	—1315	—1317	—1328	—1340	—1361	—1393
15	— 651	— 636	— 616	— 597	— 571	— 547	— 523	— 504	— 490	— 511
20	— 138	— 128	— 101	— 61	— 3	66	145	224	308	373
25	160	156	188	252	352	479	630	794	968	1133
30	224	200	231	320	468	664	902	1171	1457	1743
35	62	6	35	147	344	615	949	1333	1748	2174

$10^5 Z_4$

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	—3024	—3024	—3024	—3024	—3024	—3024	—3024	—3024	—3024	—3024
5	—3989	—4005	—4011	—4008	—3933	—3974	—3945	—3908	—3862	—3809
10	—4741	—4759	—4755	—4729	—4687	—4625	—4547	—4455	—4347	—4230
15	—5182	—5184	—5153	—5094	—5007	—4895	—4760	—4606	—4432	—4246
20	—5245	—5215	—5148	—5043	—4907	—4743	—4551	—4338	—4109	—3862
25	—4911	—4838	—4723	—4569	—4384	—4175	—3939	—3685	—3420	—3135
30	—4195	—4068	—3904	—3709	—3484	—3244	—2988	—2717	—2440	—2151
35	—3167	—2983	—2773	—2541	—2293	—2045	—1794	—1541	—1290	—1036

$10^5 Z_5$

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	195	195	195	195	195	195	195	195	195	195
5	— 500	— 454	— 398	— 338	— 272	— 203	— 129	— 52	27	108
10	—1257	—1164	—1054	— 928	— 790	— 638	— 479	—313	—141	33
15	—1944	—1811	—1648	—1462	—1255	—1029	— 787	—535	—277	— 15
20	—2434	—2278	—2073	—1843	—1582	—1293	— 990	—674	—353	— 28
25	—2638	—2463	—2244	—1984	—1696	—1381	—1045	—700	—350	— 3
30	—2511	—2338	—2117	—1858	—1570	—1257	— 932	—600	—271	52
35	—2069	—1910	—1707	—1473	—1212	— 939	— 664	—389	—123	131

$10^5 Z_6$

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	— 416	— 416	— 416	—416	—416	—416	—416	—416	—416	—416
5	— 560	— 568	— 578	—587	— 597	—603	—610	—628	—614	—614
10	— 532	— 559	— 586	—617	—645	—673	—701	—724	—744	—759
15	— 331	— 373	— 416	—471	—530	—593	—657	—716	—772	—820
20	12	— 30	— 91	—170	—254	—370	—477	—589	—696	—787
25	421	388	320	224	100	— 46	—203	—366	—525	—672
30	799	781	321	615	475	301	110	— 95	—297	—491
35	1049	1042	1000	909	768	588	386	165	— 59	—275

Les résultats ont été représentés sur trente grandes planches en millimètres carrés, chacune de 430 mm. de longueur et de 560 mm. de largeur. Pour chacune des fonctions, on a ainsi construit deux planches : sur l'une, on a choisi θ pour abcisse et comme coordonnée la fonction, de manière à obtenir 10 courbes correspondantes à $\psi = 0°, 5°, \ldots 40°$ et $45°$; sur l'autre planche, on a choisi ψ comme abcisse, ce qui donne 8 courbes pour la fonction, correspondantes aux valeurs $\theta = 0°, 5°\ 10°, \ldots 30°$ et 35. Le millimètre correspond alors 10^{-4} unités magnétiques, c'est-à-dire à 10 γ, avec l'unité γ.

A l'aide de ces planches et des formules pour X_1, Y_1 et Z_1, on pouvait alors aisément trouver les composantes X, Y, Z de la force magnétique en chaque point, où $r \geqq R$, et où

$$o \leqq \psi \leqq 45°$$
$$o \leqq \theta \leqq 45°$$

Comme vérification, nous avons calculé les tables suivantes, pour les composantes du magnétisme terrestre sur la surface de la terre :

$10^5 X$

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	3559	3946	4308	4635	4914	5179	5392	5566	5696	5785
5	6291	6691	7038	7312	7521	7671	7758	7781	7749	7159
10	8484	8902	9241	9492	9658	9743	9750	9682	9560	9350
15	10239	10674	11020	11269	11422	11488	11468	11352	11202	10961
20	11704	12158	12516	12791	12978	13063	13068	12988	12837	12628
25	13057	13537	13933	14244	14469	14588	14685	14661	14586	14447
30	14446	14979	15418	15786	16076	16288	16431	16514	16527	16488
35	16059	16617	17109	17539	17890	18192	18572	18594	18912	18780

$10^5 Y$

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	4621	4292	3934	3545	3125	2684	2222	1746	1254	751
5	4782	4284	3737	3157	2568	1972	1548	792	222	— 333
10	4982	4307	3604	2890	2155	1434	729	52	— 581	—1172
15	5158	4366	3549	2716	1888	1079	295	— 447	—1133	—1763
20	5335	4467	3516	2668	1782	906	71	— 714	—1441	—1991
25	5526	4611	3681	2740	1811	896	46	— 768	—1517	—2189
30	5739	4810	3859	2908	1965	1044	167	— 654	—1412	—2093
35	5995	5067	4118	3158	2214	1296	422	— 401	—1159	—1847

$10^5 Z$

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	58304	58304	58304	58304	58304	58304	58304	58304	58304	58304
5	56358	56315	56292	56289	56365	56335	56385	56351	56537	56637
10	54151	54055	54014	54018	53071	54171	54307	54488	54706	54947
15	51892	50887	51700	51716	51815	51984	52225	52526	52827	53270
20	49472	49552	49482	49507	49654	49878	50214	50623	51114	51668
25	47749	47511	47404	47433	47588	47859	48253	48741	49323	49986
30	45872	45567	45420	45416	45569	45849	46259	46785	47414	48131
35	43977	43380	43376	43323	43051	43692	44084	44598	45228	45955

En outre, les valeurs correspondantes à $\theta = 30°$ et $\psi = 0°$, 5°, 10,... 45° ont été vérifiées par un calcul direct.

Pour les « *éléments magnétiques* », la déclination δ, l'inclination J et l'intensité horizontale H. définies par les formules :

$$\left.\begin{aligned} X &= H \cos \delta \\ Y &= H \sin \delta \\ Z &= H \operatorname{tg} J \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

on trouve :

δ

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	52°24′	47°24′	42°24′	37°25′	32°27′	27°24′	22°24′	17°25′	12°25′	7°24′
5	37°14′	32°38′	27°58′	23°21′	18°51′	14°25′	11°17′	5°49′	1°38′	−2°40′
10	30°25′	25°49′	21°18′	16°56′	12°35′	8°22′	4°17′	18′	−3°29′	−7°9′
15	26°44′	22°15′	17°51′	13°33′	9°23′	5°22′	1°28′	−2°15′	−5°47′	−9°12′
20	24°30′	20°10′	15°41′	11°47′	7°49′	3°58′	19′	−3°9′	−6°24′	−8°58′
25	22°56′	18°49′	14°48′	10°53′	7°8′	3°31′	11′	−3°	−5°56′	−8°37′
30	21°38′	17°48′	14° 3′	10°26′	6°58′	3°40′	35′	−2°16′	−4°53′	−7°14′
35	20°28′	16°57′	13°32′	10°12′	7°3′	4°4′	1°18′	−1°14′	−3°30′	−5°37′

J

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	84°17′	84°17′	84°17′	84°17′	84°17′	84°17′	84°17′	84°17′	84°17′	84°17′
5	82°1′	81°58′	81°57′	81°57′	81°58′	82°	82° 1′	82°1′	82°13′	82°47′
10	79°42′	79°38′	79°36′	79°36′	79°26′	79°42′	79°48′	79°48′	80°4′	80°16′
15	77°32′	77°14′	77°23′	77°22′	77°24′	77°29′	77°20′	77°20′	77°58′	78°14′
20	75°26′	75°21′	75°17′	75°13′	75°13′	75°17′	75°25′	75°25′	75°54′	76°6′
25	73°28′	73°15′	73° 5′	73°	72°58′	73°1′	73°4′	73°4′	73°26′	73°42′
30	71°16′	70°57′	70°43′	70°32′	70°26′	70°24′	70°27′	70°27′	70°43′	70°57′
35	68°42′	68°10′	67°55′	67°38′	67°17′	67°21′	67°9′	67°9′	67°16′	67°40′

$10^5 H$

	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
0	5832	5832	5832	5832	5832	5832	5832	5832	5832	5832
5	7902	7945	7969	7964	7947	7920	7911	7821	7752	7167
10	9838	9889	9919	9922	9896	9848	9777	9682	9578	9423
15	11465	11533	11577	11592	11577	11539	11472	11361	11259	11102
20	12863	12953	13001	13066	13100	13094	13068	13008	12845	12784
25	14173	14301	14411	14505	14582	14615	14685	14681	14665	14612
30	15563	15732	15894	16052	16196	16322	16432	16527	16587	16620
35	17142	17373	17598	17821	18027	18238	18577	18599	18948	18871

ce qui s'accorde assez bien avec les valeurs observées.

Nous allons donner aussi un exemple du calcul numérique de la force magnétique *en un point de l'espace très éloigné de la terre*, à savoir pour

$$r = 15366 \text{ km.}$$
$$\theta = 27°715$$
$$\psi = 29°624$$

L'exemple est emprunté au calcul d'une ligne de force, calcul que nous allons citer plus tard.

On trouve d'abord

$$X_1 = 0.16032, \quad Y_1 = 0.06225, \quad Z_1 = 0.56094$$

et ensuite, graphiquement, à l'aide des planches :

$$\begin{array}{lll} X_2 = 0.03275, & Y_2 = -0.02780, & Z_2 = -0.05210 \\ X_3 = -0.00740, & Y_3 = -0.01280, & Z_3 = 0.00785 \\ X_4 = -0.02210, & Y_4 = -0.01270, & Z_4 = -0.03480 \\ X_5 = -0.00230, & Y_5 = -0.01390, & Z_5 = -0.01030 \\ X_6 = -0.00520, & Y_6 = 0.00640, & Z_6 = -0.00015 \end{array}$$

D'autre part

$$\frac{R}{r} = 0.41430$$

Il faut substituer ces valeurs dans les séries :

$$X = X_1\left(\frac{R}{r}\right)^3 + X_2\left(\frac{R}{r}\right)^4 + X_3\left(\frac{R}{r}\right)^5 + \ldots$$
$$Y = Y_1\left(\frac{R}{r}\right)^3 + Y_2\left(\frac{R}{r}\right)^4 + Y_3\left(\frac{R}{r}\right)^5 + \ldots$$
$$Z = Z_1\left(\frac{R}{r}\right)^3 + Z_2\left(\frac{R}{r}\right)^4 + Z_3\left(\frac{R}{r}\right)^5 + \ldots$$

On trouve alors les résultats suivants :

n	$X_n\left(\frac{R}{r}\right)^{n+2}$	$Y_n\left(\frac{R}{r}\right)^{n+2}$	$Z_n\left(\frac{R}{r}\right)^{n+2}$
1	0.011400	0.004427	0.039888
2	0.000965	—0.000819	—0.001535
3	—0.000090	—0.000156	0.000096
4	—0.000112	—0.000064	—0.000176
5	—0.000005	—0.000029	—0.000022
6	—0.000004	0.000006	—0.000000

ce qui donne

$$X = 0.01215$$
$$Y = 0.00336$$
$$Z = 0.03825$$

Quant à l'axe magnétique de la terre, les coordonnées de son point d'intersection avec l'hémisphère boréal de la terre aura, d'après M. Carlheim-Gyllensköld, les coordonnées suivantes :

Latitude 78°54′

Longitude à l'ouest de Greenwich 59°,056 + 0,117805 T

où T désigne le temps compté en années tropiques depuis l'an 1800.

On trouve alors pour l'année 1900 :

Longitude = 70°,8365 à l'ouest de Greenwich

Le moment magnétique M de la terre se trouve égal à

$$8{,}49.10^{25} \text{ C.G.S}$$

ce qui ne diffère pas beaucoup de la valeur $8{,}52.10^{25}$, dont je me suis servi auparavant.

4. — *Calcul de quelques lignes de force du magnétisme terrestre autour de la terre, d'après la théorie de Gauss.*

Avant de commencer à calculer les trajectoires véritables dans le champ magnétique terrestre, d'après la théorie de Gauss, il m'a paru intéressant de calculer d'abord quelques lignes de force.

En effet, d'après la théorie des trajectoires dans le cas d'un aimant élémentaire, *il était probable que les trajectoires des corpuscules ne s'écartaient pas beaucoup des lignes de force, dans*

les parties du champ terrestre qui n'étaient pas plus éloignées de la terre que l'orbite de la lune[1]*;* on suppose alors que la déviabilité magnétique des rayons est de l'ordre des rayons β de radium.

On obtiendrait ainsi des renseignements provisoires sur les trajectoires en calculant des lignes de force magnétiques aboutissant en des lieux convenables près de la zone d'aurore.

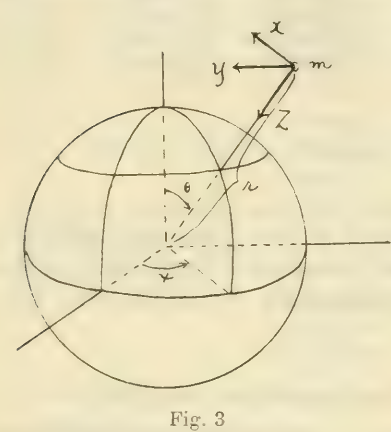


Fig. 3

Ecrivons d'abord les équations différentielles des lignes de force.

Soit m un point de la ligne de force et soient X, Y, Z les composantes de la force magnétique au point m, et r, θ et ψ ses coordonnées.

Les cosinus directeurs de la ligne de force au point m par rapport à un système de coordonnées m X Y Z sont d'une part proportionnelles aux

$$-rd\theta, \quad -r\sin\theta d\psi \quad \text{et} \quad -dr$$

où $d\theta$, $d\psi$ et dr sont des différentielles correspondant à un déplacement le long de la ligne de force et d'autre part proportionnelles aux

$$X, \quad Y \quad \text{et} \quad Z$$

Donc

$$\frac{rd\theta}{X} = \frac{r\sin\theta d\psi}{Y} = \frac{dr}{Z} \tag{5}$$

ce qui constitue les équations différentielles de la ligne de force. En prenant r comme variable indépendante, et en prenant pour l'unité d'angle un degré, les équations différentielles peuvent s'écrire :

$$\left.\begin{aligned} \frac{d\theta}{dr} &= r(r,\theta,\psi) \\ \frac{d\psi}{dr} &= g(r,\theta,\psi) \end{aligned}\right\} \quad \text{II}$$

[1] Cela est toutefois une hypothèse dont j'ai jusqu'ici vainement cherché la vérification mathématique. Elle est peut-être erronée.

où

$$f(r,\theta,\psi) = \frac{180}{\pi}\frac{1}{r}\frac{X^*}{Z^*}, \quad g(r,\theta,\psi) = \frac{180}{\pi}\frac{1}{r\sin\theta}\frac{Y^*}{Z^*}$$

et où

$$\left.\begin{aligned} X^* &= X_1 + X_2\left(\frac{R}{r}\right) + X_3\left(\frac{R}{r}\right)^2 + \ldots + X_6\left(\frac{R}{r}\right)^5 \\ Y^* &= Y_1 + Y_2\left(\frac{R}{r}\right) + Y_3\left(\frac{R}{r}\right)^2 + \ldots + Y_6\left(\frac{R}{r}\right)^5 \\ Z^* &= Z_1 + Z_2\left(\frac{R}{r}\right) + Z_3\left(\frac{R}{r}\right)^2 + \ldots + Z_6\left(\frac{R}{r}\right)^5 \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

Quant au calcul des X_n, Y_n et Z_n, nous nous en sommes occupés suffisamment dans le paragraphe précédent.

Il s'agit maintenant de *calculer effectivement ces lignes de force;* tout procédé analytique est inapplicable à cause de la complication des fonctions f et g. Il faut donc avoir recours *aux procédés d'intégration numérique.*

Nous avons trouvé que la méthode d'intégration de *M. Runge*[1] était ici assez pratique. Pour le détail, nous renverrons au mémoire de M. Runge.

Nous avons calculé deux lignes de force[2] : l'une aboutissant aux environs de Beeren Island ($\theta = 15°$, $\psi = 20°$), l'autre au nord du Grönland ($\theta = 5°$, $\psi = 0°$).

Voici les coordonnées calculées :

Première ligne de force

r km	$\theta°$	$\psi°$
6366	15.0000	20.0000
7366	16.8291	21.3698
8366	18.4515	22.7470
9366	19.9508	24.0251
10366	21.3658	25.1866
11366	22.7173	26.2382
12366	24.0185	27.1923
14366	26.5046	28.8598
16366	28.8740	30.2731
18366	31.1600	31.4950
20366	33.3834	32.5704

[1] Voir : Ueber die numerische Auflösung von Differentialgleichungen. *Mathematische Annalen,* Band 46, 1894. (En particulier, p. 172.)

[2] Le calcul a été fait par un de mes aides, *M. Olaf Devik,* étudiant. Il a pris environ 150 heures de travail. Il a été terminé au mois de janvier 1908.

Seconde ligne de force

r km	$\theta°$	$\psi°$
6366	5.0000	0.0000
6766	5.4076	3.1578
7166	5.7527	5.8784
7566	6.0714	8.2551
8166	6.5148	11.3447
8766	6.9245	14.0368
9366	7.3162	16.3805
10366	7.9349	19.7388
11366	8.5229	22.5778
12366	9.0876	25 0184
13366	9.6336	27.1464
14366	10.1642	29.0222
16366	11.1855	32.1880
18366	12.1628	34.7689
20366	13.1031	36.9228
22366	14.0115	38.7535
24366	14.8922	40.3332
26366	15.7482	41.7140
28366	16.5822	42.9348
30366	17.3964	44.0242

Sur la fig. 5, on voit les courbes correspondantes obtenues en prenant pour chaque point de la ligne de force le point d'intersection entre le rayon vecteur et la surface de la terre. Les valeurs correspondantes de r sont ajoutées le long des courbes.

Il est maintenant d'un intérêt capital *de comparer ces lignes de force avec les lignes de force obtenues en assimilant le champ terrestre avec celui d'un aimant élémentaire ayant son axe le long de l'axe magnétique de la terre.*

Il s'agit donc de trouver les lignes de force dans cette hypothèse simplifiée.

Soient Z le pôle nord, OM l'axe magnétique, OE le rayon venteur à un point de la ligne de force d'un aimant élémentaire placé en O avec son axe le long de OM.

Soient de plus :

β l'angle ZOM,

γ l'angle MZG entre le méridien passant par M et le méridien ZG passant par Greenwich.

On a :

$$\beta = 11°10$$
$$\gamma = 70°84 \text{ à l'époque } 1900$$

Cela posé, les lignes de force sont situées dans des plans passant par OM. Fixons un tel plan, en fixant l'angle α entre les plans MOZ et MOE.

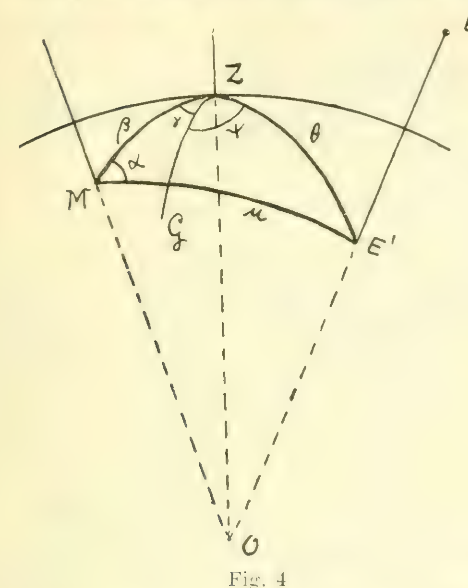


Fig. 4

Alors, si u est l'angle MOE, l'équation d'une ligne de force dans le plan MOE peut s'écrire

$$\sin u = k\sqrt{r}$$

où k est une constante, qu'on peut déterminer en écrivant que la ligne de force passe par un point donné.

Les coordonnées géographiques θ et ψ du point d'intersection E' entre OE et la surface de la terre peuvent alors être calculées par les formules :

$$\cos \theta = \cos \beta \cos u + \sin \beta \cos \alpha \sin u$$

$$\operatorname{cotg} (\psi + \gamma) = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \operatorname{cotg} u - \operatorname{cotg} \alpha \cos \beta$$

Nous allons l'appliquer *à la première ligne calculée* plus haut. Faisons passer par son point extrême

$$r_0 = 20366 \text{ km.}$$
$$\theta_0 = 33°38$$
$$\psi_0 = 32°57$$

une ligne de force d'aimant élémentaire.

On trouve d'abord pour le point de départ :

$$\cos u_0 = \cos \beta \cos \theta_0 + \sin \beta \sin \theta_0 \cos (\psi_0 + \gamma)$$

c'est-à-dire

$$\cos u_0 = 0.7948$$
$$u_0 = 37°36$$

et

$$k = 0.004252$$

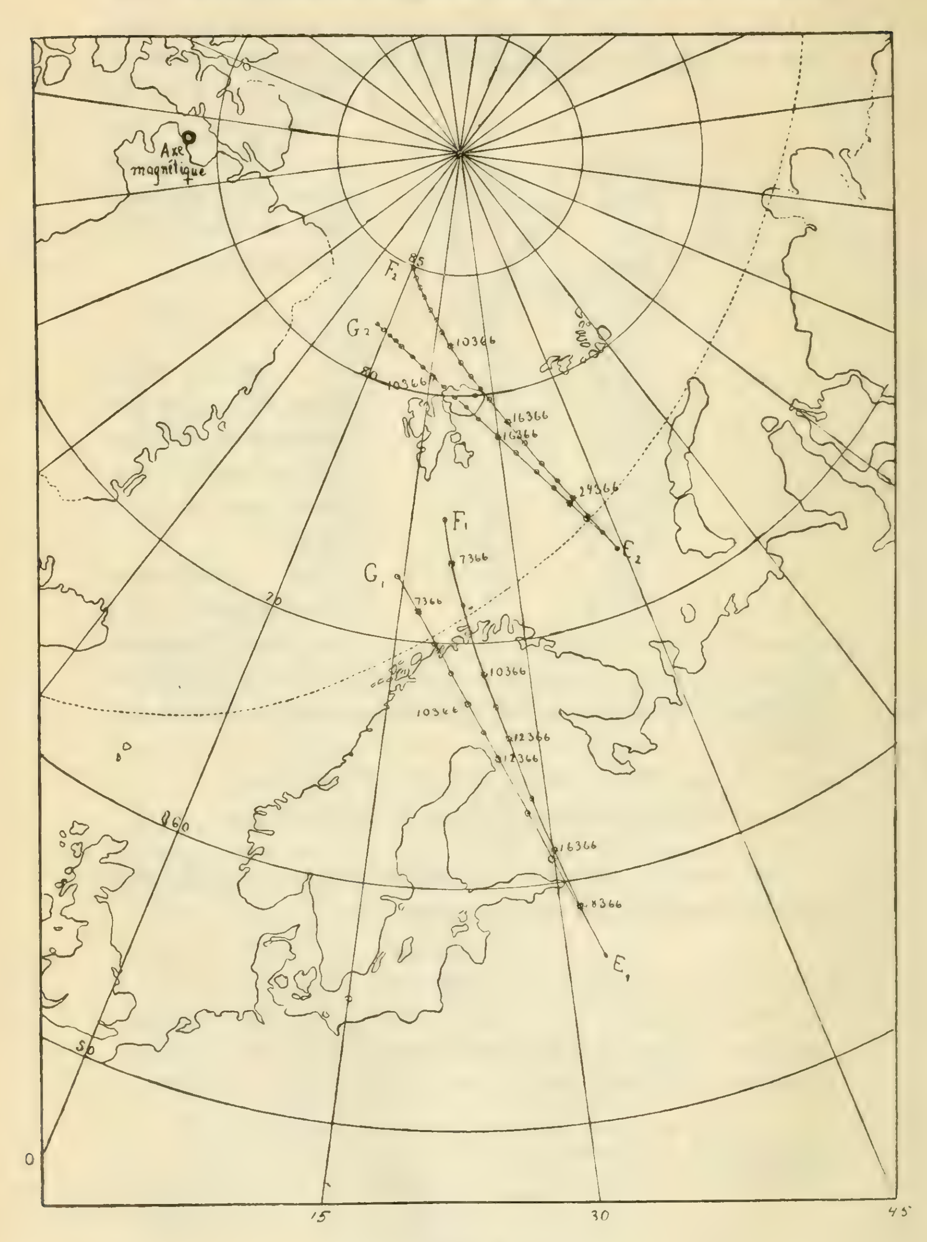

Axe magnétique
F2
G2
10366
80
10366
16366
16366
24366
E2
F1
7366
G1
7366
70
10366
10366
12366
12366
16366
8366
E1
60
50
0
15
30
45

Fig. 5

Ensuite

$$\sin a = \frac{\sin \theta_0 \sin (\psi_0 + \gamma)}{\sin u_0} = 0.8820$$

Donc

$$a = 61°89$$

Les constantes étant ainsi fixées, on trouve les coordonnées suivantes pour la ligne de force :

r km	θ	ψ	$\Delta\theta$	$\Delta\psi$
6366	17.47	14.53	—2.47	5.47
7366	18.79	17.30	—1.96	4.07
8366	20.07	19.58	—1.62	3.17
9366	21.30	21.50	—1.35	2.53
10366	22.51	23.15	—1.14	2.04
11366	23.68	24.66	—0.96	1.58
12366	24.83	25.86	—0.81	1.33
14366	27.06	28.02	—0.56	0.84
16366	29.22	29.79	—0.35	0.48
18366	31.32	31.28	—0.16	0.21
20366	33.38	32.57	0	0

Ici $\Delta\theta$ et $\Delta\psi$ désignent ce qu'on doit ajouter à θ et ψ pour obtenir les valeurs θ et ψ correspondant à la ligne de force précédemment calculée.

De la même manière, faisons passer une ligne de force d'aimant élémentaire par le point extrême *de la seconde ligne de force*.

On trouve :

$$u_0 = 24°19$$
$$k = 0.002351$$
$$a = 41°46$$

d'où

r km	θ	ψ	$\Delta\theta$	$\Delta\psi$
6366	7.72	—3.22	—2.72	3.22
6766	7.86	—0.86	—2.45	4.02
7166	7.96	1.36	—2.21	4.52
7566	8.08	3.46	—2.01	4.80
8166	8.29	6.39	—1.78	4.95
8766	8.53	9.08	—1.61	4.96
9366	8.74	11.55	—1.42	4.83
10366	9.14	15.23	—1.21	4.51
11366	9.55	18.46	—1.03	4.12
12366	9.98	21.29	—0.89	3.73
13366	10.41	23.81	—0.78	3.34
14366	10.83	26.04	—0.67	2.98

r km	θ	ψ	$\Delta\theta$	$\Delta\psi$
16366	11.69	29.85	−0.50	2.34
18336	12.55	32.98	−0.39	1.79
20366	13.40	35.59	−0.30	1.33
22366	14.22	37.77	−0.21	0.98
24366	15.03	39.65	−0.14	0.68
26366	15.84	41.34	−0.09	0.40
28366	16.62	42.74	−0.04	0.19
30366	17.40	44.02	0	0

Sur la carte fig. 5, on voit les résultats obtenus. Pour chaque point calculé, on a marqué le point d'intersection entre le rayon vecteur et la surface de la terre.

On voit que l'hypothèse de Gauss avec les termes jusqu'au sixième ordre inclus ne modifie pas beaucoup les lignes de force correspondantes au premier terme, c'est-à-dire correspondantes à l'hypothèse d'un aimant élémentaire. Les lignes de force calculées tournent seulement plus dans la direction ouest-est magnétique, tandis que la distance à l'axe magnétique est à peu près la même.

Les points de rencontre F_1, G_1, F_2 et G_2 avec la surface de la terre correspondent aux valeurs

	θ	ψ	u
F_1	15.00	20.00	18.71
G_1	17.47	14.53	19.83
F_2	5.00	0.00	10.49
G_2	7.72	−3.22	10.81

Appliquons ce résultat à l'étude des trajectoires des corpuscules électriques au voisinage de la terre.

Supposons que les corpuscules suivent au voisinage immédiat des lignes de force.

Alors avec point de départ aux points extrêmes des lignes calculées, on arrive aux points G_1 et G_2 dans l'hypothèse d'un aimant élémentaire, et aux F_1 et F_2 dans l'hypothèse de Gauss. *Les points F_1 et F_2 étant cependant plus près de l'axe magnétique*

que G_1 et G_2 respectivement, l'application de l'hypothèse de Gauss ne semble pas lever la difficulté de la situation de la zone d'aurore, comme je l'avais d'abord cru dans mon mémoire dans les Archives, en 1907[1].

Pour en être sûr cependant, il aurait fallu calculer les trajectoires véritables ou au moins les lignes de force jusqu'à un million de kilomètres de la terre, travail difficile, que je n'ai pas eu le temps de réaliser.

Dans le paragraphe suivant, je vais seulement mentionner les recherches que j'ai tentées pour calculer les trajectoires dans le champ magnétique terrestre, d'après la théorie de Gauss.

5. — *Tentatives de calcul numérique des trajectoires des corpuscules dans le champ magnétique d'après la théorie de Gauss*

Comme les composantes de la force magnétique, d'après les formules de *M. Carlheim-Gyllensköld*, étaient des fonctions des coordonnées polaires r, θ et ψ, ma première idée était de transformer les équations différentielles des trajectoires en coordonnées polaires.

Cet ordre d'idées me conduisait au problème général de transformer les équations en coordonnées curvilignes quelconques; on en trouve la solution dans ma note : *Cas de réduction des équations différentielles de la trajectoire d'un corpuscule électrisé dans un champ magnétique.* Comptes rendus, Paris, 2 mars 1908.

Déjà, pour le cas des coordonnées polaires, les équations étaient assez compliquées, et même si compliquées que l'application des méthodes d'intégration numériques devait nécessairement être très fatigantes.

J'ai donc préféré conserver les équations différentielles sous leur forme cartésienne et calculer, au lieu des composantes X, Y, Z du § 1, celles qui sont parallèles aux axes des coordonnées OA, OB, OZ (voir la fig. 1), avec leur sens positif coïncidant avec le sens positif des axes.

[1] Voir mon mémoire dans les *Archives,* 1907, § 3.

En appelant ces dernières composantes P_x, P_y et P_z on trouve aisément (voir fig. 1) :

$$\left.\begin{aligned} P_x &= -X\cos\theta\sin\psi - Y\cos\psi - Z\sin\theta\sin\psi \\ P_y &= -X\cos\theta\cos\psi + Y\sin\psi - Z\sin\theta\cos\psi \\ P_z &= X\sin\theta - Z\cos\theta \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

Soient x, y, z les coordonnées cartésiennes d'un point de la trajectoire, de telle sorte que

$$\begin{aligned} x &= r\sin\theta\sin\psi \\ y &= r\sin\theta\cos\psi \\ z &= r\cos\theta \end{aligned}$$

alors les équations différentielles de la trajectoire seront pour un corpuscule négatif[1] :

$$\left.\begin{aligned} H_0\varrho_0\, x'' &= P_z y' - P_y z' \\ H_0\varrho_0\, y'' &= P_x z' - P_z x' \\ H_0\varrho_0\, z'' &= P_y x' - P_x y' \end{aligned}\right\} \quad \text{III}$$

J'avais d'abord développé pour ce système une méthode d'intégration numérique analogue à la méthode qu'on trouve dans mon mémoire cité. Cependant, l'application numérique était d'une nature si compliquée, et la distance entre les points calculés successivement si petite, que la méthode se montrait inapplicable pour le but actuel.

Je fis alors l'application de la méthode de *M. Runge*, si utile pour le calcul des lignes de force. Il fallait alors transformer le système en un système de 6 équations différentielles du premier ordre et généraliser convenablement les détails de la méthode.

Mais ici aussi se montraient les difficultés. La distance entre les points successifs était si faible, que l'on n'aurait aucune espérance d'arriver à une distance de la terre de 20 000 km., par exemple, en un espace de temps raisonnable.

La cause commune de ces échecs était simplement que la courbure des trajectoires, qui avait la forme des spirales autour des lignes de force, était si grande par rapport à celle des lignes de force, que la validité des développements de x, y et z en séries de puissances d'après la variable s était très restreinte et l'efficacité des méthodes numériques est précisément basée sur la convergence rapide de ces développements.

[1] Voir mon mémoire dans les *Archives*, 1907, § 3.

J'essayai alors d'une *troisième méthode* basée sur les considérations suivantes :

De la même manière que dans la théorie des surfaces, on considère la forme de la surface au voisinage d'un point à l'aide de l'indicatrice de Dupin, on peut, dans la théorie du potentiel, étudier le système de surfaces équipotentielles au voisinage du point considéré. Si ce point est en dehors des masses magnétiques, comme dans le cas actuel, le potentiel V peut être développé en série d'après les puissances de $x - x_0$, $y - y_0$ et $z - z_0$ convergente[1] pour une distance assez petite entre le point (x, y, z) et le point considéré (x_0, y_0, z_0).

Alors, *comme première approximation*, les surfaces équipotentielles autour du point $(x_0, y_0\ z_0)$ seront des plans parallèles, comme seconde approximation des surfaces du second ordre, etc...

On peut alors, comme première approximation, pour la trajectoire véritable, prendre la trajectoire dans un champ constant, c'est-à-dire une hélice, comme seconde approximation la trajectoire dans le champ, où les surfaces équipotentielles sont du second ordre, etc.

Pour le faire en détail, on introduit convenablement *un paramètre* et cherche des développements en séries d'après ce paramètre. Il reste à traiter les question de convergence, problème difficile que nous n'abordons pas ici.

Pour fixer les idées, considérons d'abord le cas suivant[2] :

En un point du champ magnétique, plaçons un système de coordonnées cartésiennes ayant leur origine au point même et l'axe des Z le long de la force magnétique, sa direction positive coïncidant avec la direction de la force; pour le potentiel V, on aura alors le développement en série

$$V = V_0 + cz + Ax^2 + By^2 + Cz + 2Dxy + 2Eyz + 2Fxz + \varepsilon_3$$

où V_0, c, A, B, C, D, E et F sont des constantes, et où ε_3 désigne les termes d'ordre plus grand que deux.

[1] Voir Poincaré : Théorie du potentiel newtonien, p. 24.

[2] La description complète de la méthode, rédigée pour mes assistants, forme un manuscrit n'ayant pas moins de 43 pages in-folio.

On en tire pour les composantes de la force magnétique

$$P_x = \frac{\partial V}{\partial x} = 2Ax + 2Dy + 2Fz + \ldots$$

$$P_y = \frac{\partial V}{\partial y} = 2Dx + 2By + 2Ez + \ldots$$

et

$$P_z = \frac{\partial V}{\partial z} = c + 2Fx + 2Ey + 2Cz + \ldots$$

où les termes omis sont d'ordre plus grand que le premier.

Pour les applications que nous allons faire, il est préférable, dans les équations différentielles, de compter l'arc s positif *dans le sens opposé au mouvement du corpuscule;* en effet, nous allons calculer la trajectoire d'un corpuscule venant de l'espace cosmique vers la terre, et nous commencerons le calcul à la terre et rétrograderons le long de la trajectoire vers l'espace cosmique.

Dans cette hypothèse, il faut donc changer le signe des seconds membres des équations III, de manière qu'on ait :

$$\left.\begin{aligned} H_0\varrho_0 \frac{d^2x}{ds^2} &= \frac{\partial V}{\partial y}\frac{dz}{ds} - \frac{\partial V}{\partial z}\frac{dy}{ds} \\ H_0\varrho_0 \frac{d^2y}{ds^2} &= \frac{\partial V}{\partial z}\frac{dx}{ds} - \frac{\partial V}{\partial x}\frac{dz}{ds} \\ H_0\varrho_0 \frac{d^2z}{ds^2} &= \frac{\partial V}{\partial x}\frac{dy}{ds} - \frac{\partial V}{\partial y}\frac{dx}{ds} \end{aligned}\right\} \qquad \text{(III')}$$

Or, pour suivre le principe indiqué plus haut, introduisons des nouvelles variables x_1, y_1, z_1, s_1 par les équations

$$x = ax_1, \quad y = ay_1, \quad z = az_1, \quad s = as_1$$

où

$$a = \frac{H_0\varrho_0}{c}$$

c étant la constante positive figurant dans l'expression de $\frac{\partial V}{\partial z}$.

Cela revient à choisir comme unité de longueur la longueur α.

Cela donne

$$V = V_0 + acz + a^2\left[Ax_1^2 + By_1^2 + \ldots + 2Fx_1z_1\right] + \ldots$$

où les termes omis contiennent α à des puissances supérieures.

Ensuite

$$\frac{\partial V}{\partial x} = a\left[2Ax_1 + 2Dy_1 + 2Fz_1\right] + \dots$$
$$\frac{\partial V}{\partial y} = a\left[2Dx_1 + 2By_1 + 2Ez_1\right] + \dots$$
$$\frac{\partial V}{\partial z} = c + a\left[2Fx_1 + 2Ey_1 + 2Cz_1\right] + \dots$$

et

$$\frac{dx}{ds} = \frac{dx_1}{ds_1}$$
$$\frac{d^2x}{ds^2} = \frac{1}{a}\frac{d^2x_1}{ds_1{}^2}$$

Désignons pour abréger $\frac{dx_1}{ds_1}$, $\frac{d^2x_1}{ds_1{}^2}$, etc., par x'_1, x''_1, etc.

Alors on trouve le système transformé :

$$\left.\begin{aligned} x_1'' &= Qz_1' - Ry_1' \\ y_1'' &= Rx_1' - Pz_1' \\ z_1'' &= Py_1' - Qx_1' \end{aligned}\right\} \qquad \text{(IV}$$

où P, Q et R sont des séries de puissances d'après les variables x_1, y_1, z_1 et la constante α, convergentes pour x_1, y_1, et z_1 assez petits en valeur absolue; on a, en effet :

$$P = a\left[\frac{2A}{c}x_1 + \frac{2D}{c}y_1 + \frac{2F}{c}z_1\right] + \dots$$
$$Q = a\left[\frac{2D}{c}x_1 + \frac{2B}{c}y_1 + \frac{2E}{c}z_1\right] + \dots$$
$$R = 1 + a\left[\frac{2F}{c}x_1 + \frac{2E}{c}y_1 + \frac{2F}{c}z_1\right] + \dots$$

où les termes omis contiennent α à des puissances supérieures.

Or, on a ici précisément un système d'équations différentielles *contenant un paramètre* α, et on peut y appliquer les théorèmes généraux [1] de *M. Poincaré*, d'après lesquels il existe des développements en série

$$x_1 = u_0 + au_1 + a^2u_2 + \dots$$
$$y_1 = v_0 + av_1 + a^2v_2 + \dots$$
$$z_1 = w_0 + aw_1 + a^2w_2 + \dots$$

où les u, v et w sont fonctions de s, convergentes pour les valeurs absolues assez petites des variables x_1, y_1, z_1, s et α.

[1] Voir : *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste*, I, § 23.

Les u, v et w se trouvent successivement en substituant les séries dans les équations différentielles et en identifiant les coefficients des diverses puissances de α aux deux membres.

Il faut aussi satisfaire à l'équation

$$x_1'^2 + y_1'^2 + z_1'^2 = 1$$

exprimant que l'arc de la trajectoire est variable indépendante, et aux conditions initiales que nous choisissons ainsi

$$\left.\begin{array}{ll} x_1 = o, & x_1' = x_0' \\ y_1 = o, & y_1' = y_0' \\ z_1 = o, & z_1' = z_0' \end{array}\right\} \text{ pour } s_1 = o$$

et cela *indépendamment* de α. Ici x'_0 y'_0 et z'_0 doivent satisfaire à la condition évidente

$$x_0'^2 + y_0'^2 + z_0'^2 = 1$$

Ces conditions initiales exigent donc que

$$\begin{array}{llll} u_n = o, & v_n = o, & w_n = o & (n = 0,1,2\ \ldots) \\ u_0' = x_0', & v_0' = y_0', & w_0' = z_0' & \end{array}$$

et

$$u_n' = o, \quad v_n' = o, \quad w_n' = o \quad (n = 1,2,3, \ldots)$$

pour $s_1 = o$.

Cela posé, développons les équations définissant les u_0, v_0, w_0 et les u_1, v_1 et w_1. Posons pour abréger

$$2\frac{A}{c}u_0 + 2\frac{D}{c}v_0 + 2\frac{F}{c}w_0 = U_0$$

$$2\frac{D}{c}u_0 + 2\frac{B}{c}v_0 + 2\frac{E}{c}w_0 = V_0$$

$$2\frac{F}{c}u^0 + 2\frac{E}{c}v_0 + 2\frac{C}{c}w_0 = W_0$$

On a donc

$$\begin{aligned} &u_0'' + au_1'' + \ldots = \\ &= (aV_0 + \ldots)(w_0' + aw_1' + \ldots) - (1 + aW_0 + \ldots)(v_0' + av_1' + \ldots) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &v_0 + av_1'' + \ldots = \\ &= (1 + aW_0 + \ldots)(u_0' + au_1' + \ldots) - (aU_0 + \ldots)(w'_0 + aw_1' + \ldots) \end{aligned}$$

et

$$w_0'' + aw_1'' + \ldots = (aU_0 + \ldots)(v_0' + av_1' + \ldots) - (aV_0 + \ldots)(u_0' + au_1' + \ldots)$$

Ensuite

$$(u_0' + au_1' + \ldots)^2 + (v_0' + av_1' + \ldots)^2 + (w_0' + aw_1' + \ldots)^2 = 1$$

En identifiant les constantes et les coefficients de α, α^2, α^3,... aux deux membres des équations différentielles, et en tenant compte des équations initiales, on trouve donc :

Pour u_0, v_0 et w_0 le système

$$\left.\begin{array}{l} u_0'' = -\, v_0' \\ v_0'' = \quad u_0' \\ w_0'' = \quad 0 \\ u_0'^2 + v_0'^2 + w_0'^2 = 1 \end{array}\right\} \quad \text{Système 0}$$

avec les conditions initiales

$$\left.\begin{array}{ll} u_0 = 0, & u_0' = x_0' \\ v_0 = 0, & v_0' = y_0' \\ w_0 = 0, & w_0' = z_0' \end{array}\right\} \quad \text{pour } s_1 = 0$$

Ensuite pour u_1, v_1 et w_1 :

$$\left.\begin{array}{l} u_1'' = -\, v_1' + V_0 w_0' - W_0 v_0' \\ v_1'' = \quad u_1' + W_0 u_0' - U_0 w^{0\prime} \\ w_1'' = \quad U_0 v_0' - V_0 u_0' \\ u_0' u_1' + v_0' v_1' + w_0' w_1' = 0 \end{array}\right\} \quad \text{Système 1}$$

avec les conditions initiales

$$\left.\begin{array}{ll} u_1 = 0, & u_1' = 0 \\ v_1 = 0, & v_1' = 0 \\ w_1 = 0, & w_1' = 0 \end{array}\right\} \quad \text{pour } s_1 = 0$$

et ainsi de suite.

Ce sont là des équations linéaires faciles à intégrer; seulement la complication devient très vite assez grande avec le numéro du système.

On trouve en intégrant le système *o :*

$$\left.\begin{array}{l} u_0 = -\, y_0'(1 - \cos s_1) + x_0' \sin s_1 \\ v_0 = \quad x_0'(1 - \cos s_1) + y_0' \sin s_1 \\ w_0 = \quad z_0' s_1 \end{array}\right\} \qquad (8)$$

ce qui constitue une hélice, si u_0, v_0 et w_0 sont des coordonnées cartésiennes.

Pour le système 1, on trouve

$$u_1 = \cos s_1 \int_0^{s_1} (F_1 \cos s_1 + F_2 \sin s_1)\, ds_1 + \sin s_1 \int_0^{s_1} (F_1 \sin s_1 - F_2 \cos s_1)\, ds_1$$

$$v_1 = \sin s_1 \int_0^{s_1} (F_1 \cos s_1 + F_2 \sin s_1)\, ds_1 - \cos s_1 \int_0^{s_1} (F_1 \sin s_1 - F_2 \cos s_1)\, ds_1$$

$$w_1 = \int_0^{s_1} F_3\, ds_1$$

où

$$F_1 = \int_o^{s_1} (V_o w_o' - W_o w_o') ds_1$$

$$F_2 = \int_o^{s_1} (W_o u_o' - V_o w_o') ds_1$$

$$F_3 = \int_o^{s_1} (U_o v_o' - V_o u_o') ds_1$$

Pour avoir u_1, v_1 et w_1 comme fonctions de s_1, il faut maintenant substituer les valeurs trouvées des u_o, v_o, w_o, u_o', v_o', et w_o' dans les intégrales et effectuer l'intégration, ce qui est un travail très long et très fatigant.

On trouve alors :

$$u_1 = \lambda_o + \lambda_1 s_1 + \lambda_2 s_1^2 + \lambda_3 s_1 \sin s_1 + \lambda_4 s_1 \cos s_1 + \lambda_5 s_1^2 \sin s_1 + \\ + \lambda_6 s_1^2 \cos s_1 + \lambda_7 \sin s_1 + \lambda_8 \cos s_1 + \lambda_9 \sin s_1 \cos s_1 + \lambda_{10} \cos^2 s_1$$

et des expressions analogues pour v_1 et w_1. Les constantes sont des fonctions des coefficients

$$c, \text{ A, B, C, D, E et F}$$

et de

$$x_o' \; y_o', \; z_o'$$

A cause de la complication, nous ne les écrivons pas ici.

En désignant les fonctions u_o, u_1... de s_1 ainsi trouvées, par $u_o(s_1)$, $u_1(s_1)$,... on aura donc

$$x = ax_1 = au_o(s_1) + a^2 u_1(s_1) + \ldots$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

Donc, en substituant $s = \alpha s$, et en choisissant les conditions initiales pour $s = s_o$ au lieu de les choisir pour $s = o$, on aura ainsi les développements :

$$\left.\begin{aligned} x &= au_o\left(\frac{s-s_o}{a}\right) + a^2 u_1\left(\frac{s-s_o}{a}\right) + a^3 u_2\left(\frac{s-s_o}{a}\right) + \ldots \\ y &= av_o\left(\frac{s-s_o}{a}\right) + a^2 v_1\left(\frac{s-s_o}{a}\right) + a^3 v_2\left(\frac{s-s_o}{a}\right) + \ldots \\ z &= aw_o\left(\frac{s-s_o}{a}\right) + a^2 w_1\left(\frac{s-s_o}{a}\right) + a^3 w_2\left(\frac{s-s'}{a}\right) + \ldots \end{aligned}\right\} \quad (9)$$

Dans les applications numériques, je me suis servi de ces séries limitées chacune *aux deux premiers termes*.

J'ai commencé le calcul[1] au point

$$r = 6866, \qquad \theta = 15°948, \qquad \psi = 20°669$$

situé sur la première ligne de force auparavant calculée. En ce point la tangente à la trajectoire a été choisie dans la direction de la force magnétique, et on a pris

$$H_0 \rho_0 = 10\,000$$

Nous avons alors calculé les constantes

$$c, \text{ A, B, C, D, E et F}$$

dans le développement du potentiel, comme fonctions des composantes magnétiques X, Y, Z et de leurs dérivées par rapport à r, θ, ψ, et les avons ensuite numériquement calculées par des méthodes analytiques et graphiques. On a ensuite, d'après la méthode exposée, calculé une partie de la trajectoire jusqu'à un nouveau point, où les mêmes choses se sont répétées, et ainsi de suite.

Cependant, le résultat était du même genre que dans le calcul des lignes de force : la trajectoire ne s'écarte pas sensiblement de la ligne de force. Toutefois, à cause des complications, le calcul n'a pas été suivi plus loin que de 400 km. le long de la ligne de force.

Au total, il faut dire que le résultat reste négatif : *il est probable, mais non certain, que l'introduction dans le calcul des termes jusqu'au sixième ordre, d'après la théorie de Gauss, ne suffit pas pour expliquer le rayon de la zone des aurores boréales, si la valeur du produit* $H_0 \rho_0$ *est du même ordre que pour les rayons* β *du radium.*

(A suivre.)

[1] Les calculs ont été faits avec beaucoup d'habilité par mon assistant. l'étudiant *Nils Solberg*. Ils ont pris environ 250 heures.

NOUVELLES IDÉES
SUR LA CONSTITUTION ET LE MÉTABOLISME
DE LA CELLULE

PAR

le Prof. Emile ABDERHALDEN (Berlin)

Conférence faite devant la Société helvétique des Sciences naturelles
à Soleure, le 2 août 1911

Le domaine qui fait le sujet de ma conférence est si extraordinairement vaste que, non seulement il me serait impossible de le définir ici dans ses grandes lignes, mais je ne saurais même traiter à fond devant vous un seul des problèmes qu'il comporte. Je dois donc me borner à examiner à grands traits quelques questions d'un intérêt plus général.

Lorsque, dans le domaine des sciences expérimentales, on étudie une question quelconque, on cherche à s'appuyer sur le plus grand nombre possible de quantités connues, afin d'avoir une base fixe à laquelle on pourra toujours se reporter. A défaut de quantités connues, on s'efforcera de choisir, tout au moins, des quantités constantes comme point de départ des expériences. C'est ainsi qu'un chimiste qui se propose d'examiner une substance donnée au point de vue de sa composition, de sa structure et de sa configuration, essayera d'arriver, par des opérations précises, à des combinaisons déjà connues ou pour lesquelles il possède au moins certaines analogies. Si, toutefois, la substance en question est entièrement nouvelle dans toute sa structure, la matière qui a servi de point de départ à ses recherches est, elle au moins, une quantité constante ; il pourra d'ailleurs toujours, en observant des conditions bien déterminées, obtenir invariablement les mêmes produits de

décomposition, lesquels se rangent donc aussi au nombre des quantités définies.

Le biologiste est-il dans le même cas, lorsqu'il veut se renseigner sur n'importe quel phénomène cellulaire ? La cellule est-elle une quantité connue ? Peut-on tout au moins la considérer comme une constante ? A la première de ces deux questions on ne peut faire actuellement qu'une réponse négative. Nous connaissons, il est vrai, de nombreux éléments de la cellule, mais nous ignorons encore la structure intime de chacune des parties qui la constituent, et nous savons bien peu de choses sur les rapports de ses éléments entre eux. C'est pour cette raison que nous ne pouvons répondre que de façon indirecte à tant de questions touchant les phénomènes cellulaires. On a bien essayé d'isoler de l'ensemble des processus cellulaires certaines phases distinctes, pour les considérer séparément. Puis, en rassemblant les différents résultats en une sorte de mosaïque, on a voulu d'après l'image ainsi obtenue se faire une idée de ce qui se passe dans la cellule elle-même. Pour peu qu'on examine cette image de plus près, on ne tarde pas à y découvrir de grandes lacunes, et à voir qu'aux faits bien établis viennent se joindre un très grand nombre d'hypothèses sans lesquelles le tableau deviendrait de plus en plus indistinct. On voit par là que la question du métabolisme cellulaire en est encore à ses premiers débuts.

A la question de savoir si la cellule végétale ou animale est une quantité constante, on peut répondre de deux manières différentes suivant le point de vue auquel on se place. En effet, si nous comparons les processus cellulaires d'instant en instant, il est impossible de considérer la cellule comme une quantité constante, attendu qu'elle n'est jamais complètement à l'état de repos. L'assimilation y alterne avec la désassimilation, la réduction avec l'oxydation. De même au point de vue physique, la cellule n'est jamais en équilibre. C'est ainsi qu'elle peut modifier continuellement sa pression osmotique sans apport de substances venant du dehors. Tantôt elle met en œuvre des cristalloïdes dissous, pour les employer à l'édification de substances colloïdales ; tantôt, au contraire, elle décompose des substances qui n'ont pas d'influence sur la pression intérieure

de la cellule en produits plus simples qui forment des solutions vraies. Il s'ensuit une augmentation de la pression osmotique. Bien qu'il ne s'agisse ici que d'oscillations à peine sensibles à nos appareils, il n'en est pas moins vrai que, à strictement parler, la cellule n'est à aucun moment une quantité absolument constante. Si elle se trouvait réellement en équilibre, c'est qu'elle aurait cessé de vivre. Mais, si au lieu de pousser à fond l'analyse de chacun des processus particuliers qui se déroulent dans les cellules, on s'en tient à l'ensemble de ces processus, et qu'on poursuive l'étude qualitative du métabolisme et des produits qui en découlent, on arrive ainsi à un résultat différent. C'est là le point de vue que je veux formuler en tête de ma conférence et que j'essayerai de justifier par l'examen de quelques problèmes particuliers.

Chaque cellule végétale ou animale possède une structure bien définie. Les matériaux qui la constituent ont une composition spécifique. Les différents éléments de la cellule sont entre eux dans des rapports invariables. A cette structure caractéristique des corps cellulaires correspondent des fonctions déterminées. Il s'ensuit que la structure spécifique de la cellule commande les fonctions particulières de celle-ci, et, inversement, on peut exprimer la même chose en disant qu'à chaque fonction correspond une structure cellulaire déterminée. Le principe de la structure particulière de la cellule de chaque espèce est donné par la constitution des cellules génératrices qui déterminent la structure de toutes les cellules subséquentes.

J'ai été amené à cette manière de voir par un grand nombre d'observations concordantes. Qu'il me soit permis d'indiquer ici celles d'entre elles qui parlent le plus clairement en faveur de la constitution spécifique des éléments cellulaires, en commençant par les observations les plus simples.

On fut extrêmement impressionné naguère par des observations qui semblaient prouver que même des organismes unicellulaires, chez lesquels on ne peut pas même affirmer la présence d'un noyau, donneraient des signes d'intelligence. C'est ainsi que Cienkowski a montré que *Vampyrella Spirogyrae,* se trouvant au milieu d'un grand nombre de différentes espèces d'algues, choisit toujours une seule espèce particulière pour sa nourriture.

Lui présente-t-on les filaments d'algues les plus variées, il va de l'un à l'autre jusqu'à ce qu'il ait trouvé celui qui lui sert d'aliment. Eclairée par les résultats des recherches plus récentes, cette observation se présente sous un jour moins mystérieux. On sait, en effet, fort bien aujourd'hui que la cellule animale et végétale se sert toujours de substances appelées ferments. La nature de ces substances nous est encore totalement inconnue ; nous ne les connaissons que par leur action. On sait que les ferments sont adaptés à des substances déterminées (substratums). Pour faciliter la compréhension des rapports entre le ferment et son substratum, M. Emile Fischer a comparé le ferment à une clef et son substratum à une serrure. De même qu'une clef d'une espèce particulière ne peut ouvrir qu'une serrure ayant une organisation correspondante, de même un ferment ne peut s'attaquer à un substratum donné que si ce dernier s'adapte par tous les détails de son organisation à la construction particulière de la clef. L'organisme unicellulaire dont il a été parlé, étant pouvu des ferments les plus variés, va d'algue en algue avec ses clefs, s'efforçant en vain de s'ouvrir un passage à travers les parois pour s'emparer du contenu cellulaire, les clefs ne s'adaptant pas aux serrures qu'il rencontre. Lorsque, enfin, il rencontre une algue dont il peut percer les parois, il pénètre dans l'intérieur de la cellule qui lui fournit sa nourriture. Il s'ensuit que le choix d'une cellule particulière, loin d'être un effet de l'intelligence de l'organisme, est dû en réalité à un rapport établi une fois pour toutes entre la structure des ferments et celle des substratums qu'ils peuvent attaquer. Bien que cette constatation soit loin de résoudre toutes les difficultés du problème, elle a cependant l'avantage de poser la question d'une manière plus exacte et de permettre d'en aborder l'étude expérimentale. La question de l'origine et de la structure des ferments reste entière, ainsi que celle de la constitution spécifique des différents substratums.

L'exemple que je viens de donner se prête à des considérations d'un intérêt plus général. L'organisme unicellulaire est ici un réactif extraordinairement sensible pour déceler la composition des parois cellulaires de certaines algues. Ce que nous ne sommes pas en mesure de faire à l'heure actuelle avec nos

seules connaissances chimiques, il le réalise au moyen des agents extrêmement sensibles que sont les ferments. Ces derniers fournissent ainsi la preuve certaine que même les parois des cellules appartenant à des espèces très voisines ne possèdent pas une composition identique. Il s'agit ici cependant de substratums remplissant dans tout le règne végétal les mêmes fonctions de séparation et de protection.

Si l'on parvient jamais à élucider complètement la nature d'un ferment quelconque, et qu'on arrive à en faire la synthèse, toute la science biologique en ressentira une impulsion nouvelle. Nombre de questions pourront être formulées avec plus de précision. Bien des énigmes seront résolues, et plus d'une hypothèse sera remplacée par des faits. Le chimiste également verra s'ouvrir devant lui une perspective inattendue. Les ferments lui fourniront des réactifs d'une sensibilité telle qu'il n'en a jamais possédé jusqu'ici, et au moyen desquels il pourra résoudre très rapidement des questions relatives à la structure et à la configuration de certaines substances.

Une autre preuve de la structure spécifique des matériaux cellulaires nous est fournie par les observations suivantes. Si nous cultivons deux espèces cellulaires, soit deux microorganismes distincts sur un milieu nutritif donné, les deux cellules conserveront, malgré leur nourriture uniforme, leurs caractères spécifiques essentiels. Il en sera de même, si nous fournissons à une seule et même espèce les substances alimentaires les plus variées ; nous ne parviendrons pas, dans les conditions normales, à influer sur la composition des éléments cellulaires. On peut faire la même remarque à l'égard des organismes plus compliqués des règnes végétal et animal. Des chevaux, du bétail, des lièvres, etc., pourront pâturer dans le même pré ; des lions, des brochets, des serpents, etc., pourront être nourris pendant des mois avec la même viande, sans qu'on arrive jamais à modifier l'une ou l'autre de ces espèces d'une manière quelconque. Chaque espèce animale conserve le plan de structure transmis par les cellules génératrices. Cette simple observation suffit à démontrer qu'aucune cellule n'ingère des aliments du dehors sans les avoir transformés. Toutes les substances alimentaires, quelles qu'elles soient, végétales ou animales, appartiennent d'abord à

certaines cellules déterminées où elles doivent jouer un rôle défini. A cet effet, elles doivent avoir une structure spécifique jusque dans les moindres détails. Puis, elles devront passer dans une autre cellule qui remplit des fonctions totalement différentes. La cellule se trouvera alors dans le cas de l'architecte qui est chargé de transformer un édifice remplissant un certain but, et ayant peut-être un style déterminé, en un édifice ayant une autre destination. Admettons qu'il s'agisse de transformer une église en une école. Sans songer un instant à une transformation réelle, l'architecte commencera par démolir entièrement l'église jusqu'à ce qu'il ne reste plus rien de l'édifice, sauf les matériaux de construction. Ceux-ci pourront alors servir à nouveau, soit directement, soit après avoir été façonnés et adaptés à la nouvelle construction. La cellule ne se comporte pas autrement. Elle ne prend rien sans l'avoir préalablement dépouillé de sa structure spécifique. Toute substance alimentaire lui est absolument étrangère jusqu'au moment où elle l'a décomposée au point qu'elle ne rappelle en rien sa structure spécifique antérieure. Elle s'empare alors des matériaux les plus simples et se met à les façonner suivant le plan qu'elle a adopté. L'organisme unicellulaire se trouve continuellement en contact avec les substances les plus variées, et l'une de ses fonctions essentielles consiste à décomposer ces substances particulières pour les recomposer ensuite de manière à en faire des parties intégrantes de la cellule. C'est ainsi que la cellule barre le chemin aux corps étrangers qui auraient pour effet de faire dévier de leur cours normal les processus cellulaires. Toute modification de la structure cellulaire entraînerait nécessairement un changement dans les fonctions de la cellule.

Chez l'organisme compliqué, notamment l'animal parvenu à un degré supérieur d'organisation, la transformation des aliments en parties intégrantes de la cellule se fait en deux phases distinctes. La première décomposition a lieu dans le tube digestif qui possède des ferments de dislocation. Les substances hydrocarbonées y sont décomposées en sucre inactif, tel que le glucose, les graisses en alcools et en acides gras, les albumines en acides aminés, etc. Les composés inorganiques, qui se sont combinés avec des composés organiques en des molécules com-

pliquées, sont décomposés de même et passent dans l'organisme à l'état de ions.

La fonction digestive n'a pas pour seul but de transformer les aliments insolubles et non diffusibles en substances susceptibles d'être résorbées. Le rôle principal des ferments digestifs est bien plutôt de détruire la structure spécifique des aliments. Il en résulte un mélange de matériaux élémentaires absolument indifférents qui sont alors résorbés, soit qu'ils s'incorporent directement aux cellules organiques, soit qu'au sein même de la paroi intestinale, ils subissent déjà une transformation en des combinaisons plus compliquées. C'est ainsi que les alcools et les acides gras donnent naissance à des graisses neutres, et que se produit vraisemblablement une synthèse d'albumine neutre à partir des acides aminés résorbés. Les substances ainsi modifiées circulent dans le système sanguin et lymphatique, où elles sont à la disposition de chacune des cellules de l'organisme, qui leur font subir à leur tour des transformations multiples en vue de la place qui leur revient dans la structure spécifique de la cellule. Les cellules de notre corps ignorent la nature de l'aliment ingéré. Elles ne s'inquiètent pas de savoir si la nourriture albumineuse que nous choisissons est d'origine animale ou végétale, pourvu que les aliments absorbés puissent être complètement disloqués par les ferments du tube digestif, et qu'il ne manque rien d'essentiel au mélange de matériaux élémentaires ainsi produit. Le tube digestif, avec ses ferments, oppose ainsi au monde extérieur une barrière infranchissable à travers laquelle aucune substance étrangère ne peut pénétrer dans notre économie.

Les plantes supérieures travaillent d'après le même principe que celui que nous venons de décrire chez les animaux. Au moment de la germination on voit apparaître les différents organes, la tige. les feuilles, etc., avec leurs cellules particulières ayant chacune un rôle bien défini, en même temps que les matériaux de réserve accumulés dans la graine disparaissent graduellement. Ces matériaux sont-ils assimilés directement par les jeunes cellules ? L'étude exacte de la germination a montré qu'il n'en est rien. La germination est accompagnée d'une active décomposition des substances de réserve qui sont

disloquées par l'action des ferments en leurs composants élémentaires. Les jeunes cellules qui ont acquis leur structure propre s'emparent des matériaux mis à leur portée, et en font des parties intégrantes de leur organisation suivant le plan qui leur appartient. Nous voyons toujours que chaque espèce de cellule conserve indéfiniment la structure qu'elle a reçue, non seulement pendant toute la durée de l'individu, mais bien au delà, dans tous ses descendants. Le plan arrêté une fois pour toutes, et transmis par les cellules génératrices, est suivi jusque dans ses moindres détails par le nouvel organisme. Si l'on adopte ce point de vue, on devra attribuer aux ferments digestifs un rôle dans la conservation des caractères proprement spécifiques. Toutefois, leur action dans ce sens n'est pas décisive, même chez les animaux supérieurs, comme on va le voir tout à l'heure. Ce qui est bien plus essentiel dans cet ordre d'idées, c'est qu'un plan de construction a été arrêté une fois pour toutes pour chaque espèce de cellule.

Si j'ai raison de supposer que le rôle de la digestion consiste dans l'anéantissement de la structure spécifique des aliments ingérés, il s'ensuit que l'organisme animal devra réagir de façon particulière si nous y introduisons de force des substances qui sont encore à l'état brut. Il est facile de réaliser l'expérience en injectant sous la peau certaines substances alimentaires, de manière à les soustraire en quelque sorte au contrôle des ferments contenus dans le tube digestif. Je ne puis étudier ici en détail les intéressantes observations qui ont été faites dans cette direction. Qu'il me soit permis de citer un seul exemple pour montrer que l'organisme animal se défend contre l'introduction dans son économie de substances qui lui sont étrangères. Donne-t-on du sucre de canne à manger à un chien, on ne le retrouve plus au delà du tube digestif. L'urine ne contient point de sucre. Si, au contraire, on injecte une petite quantité de sucre de canne sous la peau, le sucre apparaît bientôt dans l'urine, où l'on finit par retrouver inchangé la plus grande partie du sucre de canne introduit dans l'organisme. Les cellules des différents organes n'ont pas d'emploi pour le sucre de canne qui leur est étranger. Mais si elles ne peuvent l'assimiler tel quel, elles utilisent cependant les maté-

riaux contenus dans le sucre de canne, soit le glucose et le fructose dès qu'ils se présentent à l'état libre.

L'étude quantitative des réactions de l'organisme a montré que, même s'il s'agit d'un organisme compliqué, il n'est pas tout à fait impuissant à l'égard des substances possédant une structure particulière qui lui est étrangère. De même que l'organisme unicellulaire est forcé d'attaquer les substances les plus variées et que, d'ailleurs, les ferments du tube digestif remplissent des fonctions multiples, de même les cellules du corps peuvent être amenées à assumer des fonctions nouvelles. C'est ainsi qu'une digestion vraie peut se produire au delà du tube digestif : c'est alors le sang, semble-t-il, qui en est le siège principal. Il est d'ailleurs facile de mettre ce processus en évidence. Il suffit de tirer du sang à un chien qui a absorbé du sucre de canne, et de mesurer le pouvoir rotatoire du plasma sanguin après y avoir ajouté un peu de sucre de canne. On obtient ainsi un pouvoir rotatoire bien déterminé qui ne varie pas dans l'espace de plusieurs heures. Si, en revanche, on fait une injection sous-cutanée de sucre de canne, et qu'on tire quelque temps après du sang à l'animal, le pouvoir rotatoire du mélange de plasma sanguin + sucre de canne change continuellement pendant des heures. La déviation qui a commencé par être dextrogyre change graduellement de sens et finit par devenir lévogyre. Le sucre de canne a été disloqué en ses composants, le glucose et le fructose.

L'injection de corps protéiques donne des résultats analogues en faisant apparaître des propriétés nouvelles dans le plasma sanguin. Celui-ci est généralement impuissant à décomposer les protéines avant l'introduction du corps étranger. Mais, si l'on fait entrer artificiellement des substances étrangères dans le courant sanguin, la cellule mobilise des ferments et les envoie à leur rencontre pour les dépouiller de leur structure spécifique en les décomposant. On obtient, ici encore, des matériaux élémentaires indifférents qui peuvent entrer directement dans la construction des cellules. Ainsi, le processus qui s'accomplit normalement dans le tube digestif a eu pour siège le courant sanguin. De cette façon, la cellule peut utiliser les matériaux précieux renfermés dans des substances qui lui sont

étrangères. Si l'organisme est hors d'état d'accomplir ce travail de dislocation des substances étrangères, il cherchera à les écarter de son sein. Dans le cas où il ne réussirait pas à s'en débarrasser d'une manière quelconque, il en résulterait probablement des troubles graves dans le métabolisme des cellules, la coopération harmonieuse des différentes cellules devant être gênée par la présence de corps étrangers.

Qu'il me soit permis de mentionner en passant que, en vertu des considérations que je viens d'exposer, les maladies infectieuses, sans parler d'autres processus pathologiques, s'accordent avec ma manière d'envisager le métabolisme cellulaire normal. Tant que l'organisme forme un tout fermé, soit tant que les ferments du tube digestif veillent à ce qu'aucun corps étranger ne pénètre dans l'organisme, et tant que rien ne se loge dans nos organes sans passer par le tube digestif, la coopération intime de toutes les cellules du corps est assurée. Un trouble ne peut se produire que si une espèce cellulaire cesse de fonctionner, soit qu'elle ait été altérée d'une manière quelconque, soit que des cellules aient été contraintes à l'abandon de leurs fonctions, parce que certaines sécrétions qui sont nécessaires à leur travail cellulaire n'étaient plus fournies par d'autres cellules de l'organisme. Le tableau change complètement dès que des cellules étrangères pénètrent dans l'économie. C'est le cas qui se présente lorsque des microorganismes se logent dans nos tissus. Doués d'une structure cellulaire spécifique, ceux-ci ont aussi des fonctions définies en rapport avec leur constitution particulière. Les produits ultimes de leur métabolisme sont d'une nature spéciale, ainsi que leurs sécrétions, qui portent l'empreinte spécifique de la cellule particulière qui les émet. Ces produits étrangers se mettent alors à circuler dans notre économie. Une des cellules en question vient-elle à mourir, les matériaux étrangers qui la constituent entrent dans la circulation. Notre situation est alors exactement la même que dans le cas où l'on introduit par injection des substances étrangères dans nos tissus. L'organisme réagira à l'égard de ces substances, comme dans l'exemple déjà cité, le sucre de canne et l'albumine étrangers. Il mobilisera des ferments spéciaux destinés à disloquer les microorganismes et

leurs matériaux constitutifs, afin d'arriver à des corps indifférents. Il s'efforcera de tuer les microbes eux-mêmes en secrétant certaines substances déterminées. Mais cela n'est pas encore suffisant; il importe avant tout, comme il a été dit déjà, que l'organisme soit en mesure d'éliminer rapidement les substances étrangères. Longtemps après que l'invasion des micro-organismes a été repoussée victorieusement, des ferments capables de disloquer les éléments cellulaires en question continuent à circuler dans l'économie. Si les cellules ne parviennent pas à dépouiller les corps étrangers de leur constitution spécifique, l'organisme lui-même succombera après une lutte plus ou moins longue. Le principe étranger étant devenu trop puissant, il en résulte un trouble définitif dans le métabolisme.

Dans un carcinome ou un sarcome, et dans d'autres altérations cellulaires, à l'instar de ce qui se passe dans une infection, on se trouve également en présence de cellules à structure et à fonctions étrangères, qui entrent en relations avec des cellules normales. Elles émettent des produits de sécrétion, et, lorsqu'une cellule de carcinome s'effondre, un principe étranger commence à circuler dans l'organisme cancéreux. Il essayera de se défendre, au moyen de ferments de dislocation, contre les corps étrangers, et une lutte s'engagera pareille à celle que je viens de décrire pour d'autres cas analogues.

Tous les processus décrits jusqu'ici ont ceci de commun, qu'il s'agit toujours d'une lutte pour l'existence entre des cellules ayant chacune une structure spécifique invariable. Elles conservent avec une grande ténacité le plan de structure dont elles ont hérité, s'assurant ainsi une fonction bien déterminée. C'est à ce dernier point de vue surtout qu'il importe de voir dans chaque cellule une quantité constante. On sait aujourd'hui que, soit dans l'économie animale, soit très probablement dans l'organisme végétal, aucune cellule ne mène une existence séparée, aucun organe ne forme un tout indépendant. Chaque cellule appartient tout d'abord à une organisation spéciale qui, à son tour, a des devoirs à remplir vis-à-vis de l'ensemble du corps. Chaque cellule également produit des substances qui jouent un rôle déterminé, fixé une fois pour toutes. Voici quelques exemples à l'appui de ce que je viens d'exposer.

Le pancréas émet dans l'intestin l'ébauche d'un ferment de digestion, à savoir le zymogène de la trypsine. Ce corps est incapable d'attaquer les albumines. Son principe actif est, en quelque sorte, à l'état latent. Il faut qu'il se rencontre avec une autre substance, l'entérokinase, pour que le zymogène se transforme en un ferment actif. La kinase en question provient des cellules de l'intestin. Nous avons ainsi un exemple frappant de la coopération d'organes très différents. L'entérokinase est impuissante par elle-même et le pancréas ne peut rien entreprendre avec le seul zymogène. C'est par la réunion des deux substances que le résultat désiré — la décomposition des albumines — peut être obtenu. L'un ou l'autre des organes vient-il à manquer, il en résulte un trouble fonctionnel visible.

L'ablation du pancréas provoque un trouble sérieux dans le métabolisme des hydrocarbures. Du sucre apparaît dans l'urine, et l'animal ainsi mutilé succombe au bout de quelque temps. Cependant l'ablation du pancréas ne porte pas directement atteinte aux cellules de l'organisme qui décomposent le glucose et l'emploient comme source d'énergie. Elles continuent à fonctionner normalement en attendant la substance dont elles ont besoin pour décomposer le glucose. Si elle fait défaut, la cellule ne peut plus attaquer en quantités suffisantes le sucre, qui est devenu un corps étranger pour elle. Ne pouvant être décomposé, il circule inutilisé dans l'organisme et passe dans l'urine à l'état de matière sans valeur. Si l'on transplante un petit morceau du pancréas en un point quelconque du corps de l'animal, on observe que le métabolisme des hydrates de carbone rentre dans les voies normales. En effet, les cellules du pancréas fournissent aux appareils lymphatique et sanguin la substance dont le rôle est si important dans la dislocation des hydrates de carbone. A elle seule, cette substance ne peut pas attaquer le glucose ; il lui faut le concours d'une autre substance qui se trouve, semble-t-il, dans toutes les cellules du corps.

On a pu faire des observations analogues avec presque tous les organes des animaux. La glande thyroïde, les parathyroïdes, l'hypophyse, le thymus, les capsules surrénales, les glandes sexuelles, etc. Tous ces organes sécrètent des substances qui met-

tent en mouvement dans d'autres organes des fonctions déterminées. Il paraît évident que ce ne sont pas seulement les organes qu'on vient de mentionner, et qui peuvent se trouver dans n'importe quelle partie de l'organisme, pourvu qu'ils puissent communiquer de quelque manière avec les vaisseaux sanguins et lymphatiques, ce ne sont pas seulement les organes en question qui sécrètent des substances de cette nature, mais il est infiniment probable que toutes les cellules agissent réciproquement les unes sur les autres. Il est évident que le travail en commun des différents organes avec leurs espèces cellulaires particulières n'est possible que dans la mesure où aucun principe étranger ne vienne faire obstacle à l'exercice normal des fonctions.

L'examen approfondi des rapports mutuels des différentes espèces cellulaires fournit une nouvelle preuve de ce que les différentes cellules de l'organisme doivent posséder une structure constante jusque dans ses moindres détails. Les substances sécrétées par les cellules, circulant dans le sang et dans la lymphe, passent à côté de cellules de toutes les catégories. Elles n'agissent cependant que sur certaines cellules déterminées. Le plus bel exemple de ce genre nous est offert par la suprarénine sécrétée par les capsules surrénales. Cette substance particulière n'agit que sur les organes qui sont innervés par le grand sympathique. Il a été reconnu d'ailleurs que la suprarénine préparée dans le laboratoire est moins efficace que celle qui provient des capsules surrénales. La première est optiquement inactive et consiste en une partie dextrogyre et une partie lévogyre. La suprarénine naturelle est active et dévie à gauche. L'efficacité de la suprarénine dépend par conséquent de sa configuration. La suprarénine droite est bien moins active; elle serait peut-être complètement inactive si l'on pouvait la préparer à l'état de pureté absolue. Si l'on rapproche cette observation du fait que les sécrétions spéciales des différents organes n'agissent que sur des espèces cellulaires déterminées, on arrive d'emblée à cette conclusion, qu'il y a un rapport étroit entre la structure des substances sécrétées par les cellules et celle des différentes cellules de l'économie. L'action spécifique de certaines sécrétions fournit une preuve directe des diversités de structure des

différentes espèces cellulaires. Veut-on un exemple frappant des idées que je viens de développer? Dans l'hermaphrodisme latéral — il s'agit d'animaux (canards, faisans) qui sont moitié mâles, moitié femelles — l'examen superficiel des individus montre déjà que la ligne médiane du corps offre, d'un côté, la robe unie de la femelle, et de l'autre, le plumage coloré du mâle. L'étude anatomique a fait reconnaître qu'il y a, du côté correspondant, une glande sexuelle mâle, et de l'autre, une glande femelle. Or, nous ne pouvons pas supposer que l'une ou l'autre des substances que chacune des deux glandes fournit au sang s'arrête au milieu du corps. Il faut admettre, au contraire, que les substances sécrétées, soit par l'ovaire, soit par le testicule, passent à côté de toutes les cellules de l'organisme. Pourquoi alors le corps de ces animaux est-il composé de deux moitiés distinctes? Pourquoi les substances mâles et femelles n'ont-elles pas la même prise sur les différentes cellules du corps? Evidemment pour cette raison qu'il y a un rapport déterminé entre la structure de la substance et celle de la cellule correspondante. Les substances émises par chacune des glandes mâles et femelles sont adaptées à certaines cellules. D'après ce qui précède, on a tort d'admettre que les sécrétions des glandes sexuelles *provoquent la formation* des caractères sexuels secondaires. Ce qui est vrai, au contraire, c'est que les différentes cellules ont dès l'origine leur structure spéciale, et que les sécrétions ou les glandes sexuelles ne font que *développer* les caractères sexuels secondaires.

Si l'on adopte les idées exposées ici sur la coopération des diverses cellules de l'organisme on comprendra avec quelle facilité des troubles du métabolisme peuvent se produire. Les différentes cellules ont besoin les unes des autres, en sorte que leur coopération intime peut seule assurer la marche régulière de la vie cellulaire de l'ensemble. Une cellule est-elle gênée dans ses fonctions, a-t-elle subi une altération quelconque dans sa structure, il peut arriver qu'elle ne soit plus en mesure de produire une certaine sécrétion qui, suivant nos idées, doit avoir une constitution invariable jusque dans ses moindres détails. Il se peut cependant que cette fonction de la cellule n'ait pas été atteinte, mais que la cellule soit hors d'état de

réagir à des incitations qui lui viennent d'autres cellules. Une substance donnée se présente en vain devant la cellule, où elle ne trouve plus le substratum qui lui convient. Il a peut-être subi une altération minime, mais cela suffit pour le soustraire à l'influence de la substance.

A l'aide des considérations qui précèdent on peut s'expliquer pourquoi l'organisme animal, dont chaque cellule est remplie de ferments, ne se digère cependant pas lui-même. On sait, en effet, que dans chaque cellule, des hydrates de carbone, des graisses, des albumines etc., sont continuellement décomposés. Mais la cellule elle-même consiste en albumines, en hydrates de carbonate et en graisses. Bien que ces composants ne soient point permanents, il importe cependant que chaque cellule, sous peine de s'effondrer complètement, possède des éléments qui soient soustraits à un moment donné à l'action des ferments. On a avancé des hypothèses compliquées pour expliquer comment les cellules du corps ne sont pas digérées et l'on a pensé à des antiferments. Il n'est pas nécessaire de faire des suppositions aussi compliquées. Il suffit d'une légère modification de la structure et de la configuration des substances en question pour rendre le substratum absolument inaccessible aux ferments. Une légère modification en sens inverse suffira de nouveau pour rétablir les rapports entre les ferments et leur substratum.

On peut évidemment considérer le système nerveux comme une association de cellules qui émet des sécrétions spécifiques à l'aide de sa structure particulière. Son action sur certaines cellules du corps ne provoque pas seulement des rapports morphologiques, mais sans doute aussi des rapports analogues à ceux que je viens de décrire pour différents ordres de cellules. Toutefois, dans le cas du système nerveux, les vaisseaux sanguins et lymphatiques sont évités, en partie du moins, afin d'obtenir un échange aussi rapide que possible entre les différentes cellules. Des substances émises dans le sang et dans la lymphe ont bien des obstacles à surmonter avant d'arriver à la cellule du corps où elles doivent exercer leur action. Il s'agit ici certainement de processus qui se manifestent par périodes, et dont l'allure se règle sur les conditions physiques et chimiques du

sang et de la lymphe. Dans le cas du système nerveux, où il y a transport direct de certaines excitations, les processus se déroulent avec une grande rapidité et sont presque toujours nettement circonscrits.

Les idées que je défends ici sur le métabolisme et la structure cellulaires, et sur les relations mutuelles des différentes cellules entre elles. notamment les rapports intimes entre la structure des substances actives et le substratum de la cellule, ces idées nous ouvrent de lointains horizons dans une toute autre direction.

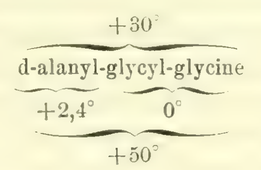
On sait, en effet, que certaines substances ingérées dans l'organisme, des médicaments par exemple, n'ont d'influence que sur certaines cellules déterminées. C'est toujours cette même loi, qui établit *la corrélation entre les substances actives et leur substratum,* corrélation qui résulte d'une structure déterminée. S'il en est vraiment ainsi, on peut annoncer avec certitude qu'on doit réussir à atteindre pleinement le but visé par Ehrlich, Uhlenhuth, etc., d'une thérapeutique spécifique des cellules. Chaque organisme a-t-il une structure cellulaire particulière, on doit alors arriver à trouver des substances qui soient adaptées à une structure cellulaire déterminée. Il existe certainement des substances qui passent à côté de toutes les cellules de notre corps sans trouver un point d'attaque. Ces substances sont peut-être adaptées à certains microorganismes dont elles troublent le métabolisme. Veut-on résoudre dans cet ordre d'idées le problème d'une thérapeutique spécifique des cellules, par la recherche de substances de ce genre qui exerceraient une action spécifique, il importe avant tout de préparer des corps ayant autant que possible une structure spécifique. D'après tout ce que nous savons déjà, c'est en partant de combinaisons asymétriques que nous pourrons obtenir des résultats positifs. En effet, la grande majorité des substances produites par les règnes animal et végétal ont une structure asymétrique : elles sont optiquement actives. Il en est de même des substances qui constituent la cellule, ainsi que des substances sécrétées par celle-ci. On rencontre partout, non seulement une structure, mais aussi une configuration déterminée. Je crois donc pouvoir annoncer que la thérapeutique de l'avenir s'appuyera essen-

tiellement sur des combinaisons ainsi constituées qu'elles pourront se comporter en tous points comme le ferment envers son substratum. Ce sera *la thérapeutique spécifique de la cellule, c'est-à-dire de la structure, ou mieux encore de la configuration.*

Nous avons résumé les principaux résultats qui nous ont amené à considérer la cellule comme un être possédant une structure spécifique absolue. Les meilleures preuves à l'appui de cette manière de voir nous ont été fournies par les ferments et par les produits de sécrétion des cellules. Mais l'étude du métabolisme cellulaire a été poursuivie dans d'autres directions que celle que nous avons suivie jusqu'ici. Comme il a été dit en commençant, on a déjà étudié d'une manière approfondie de nombreuses phases particulières du métabolisme général. La principale caractéristique des recherches modernes, c'est qu'on pose d'une manière toujours plus précise et plus directe les questions qu'on adresse à la cellule. On obtient ainsi une solution de plus en plus simple des différents problèmes. C'est ainsi, par exemple, qu'on obtient une réponse plus claire à la question touchant la décomposition ultérieure des composants élémentaires des aliments, en faisant abstraction de la cellule et en n'opérant qu'avec son contenu, le suc cellulaire isolé. On a ensuite présenté successivement à la cellule un nombre incalculable de combinaisons de constitution analogue, afin de vérifier, dans chaque cas, en quel point la combinaison est attaquée. C'est ainsi qu'on a pu se faire une idée très nette de la décomposition graduelle des matériaux élémentaires qui entrent dans la construction de la cellule. Nous savons aujourd'hui que la cellule ne consume jamais directement les différentes substances ; leur décomposition se fait au contraire par degrés successifs. Elle peut s'arrêter à chaque instant. Le corps dégradé peut alors devenir le point de départ de nouvelles synthèses. La cellule animale peut, aussi bien que la cellule végétale, transformer des hydrates de carbone en graisses. Elle peut également, à l'aide des chaînes de carbone des acides aminés, faire la synthèse du sucre. Les combinaisons les plus variées sont donc réalisables. On ne réussit pas d'ailleurs à augmenter les phénomènes de combustion dans la cellule par un apport d'oxygène. La cellule est en effet, dans une large mesure, une

formation indépendante ; et sa structure particulière règle l'ensemble de ses fonctions.

Le travail de la cellule s'accomplit essentiellement à l'aide de ferments. Il est vrai que cette simple constatation n'avance pas beaucoup la question, tant que la nature des ferments nous est inconnue, et qu'il nous est par conséquent impossible de nous faire une idée tout à fait claire de n'importe quel phénomène cellulaire. Mais nous pouvons cependant tourner la difficulté en présentant aux ferments cellulaires les combinaisons les mieux connues, et en observant la manière dont se fait leur dégradation. Un exemple élucidera la question. M. Emile Fischer a condensé des acides aminés, soit les constituants élémentaires des albumines en combinaisons acides amides, auxquelles il a donné le nom de *polypeptides*. A partir des constituants qui sont optiquement actifs, il obtient des polypeptides également actifs. Ceux-ci ont cependant un pouvoir rotatoire tout à fait différent de celui de leurs constituants. L'exemple suivant explique clairement ce qui vient d'être dit :



Le tripeptide indiqué dévie de 30° à droite. Si le premier produit de décomposition est le glycocolle, on obtient le dipeptide d-alanyl-glycine, qui dévie de 50° à droite. Si, en revanche, on a comme premier produit le d-alanine, on obtient alors le dipeptide glycyl-glycine, qui est optiquement inactif. Introduit-on le tripeptide en question dans le tube de polarisation avec des ferments cellulaires, la simple observation du pouvoir rotatoire suffira à nous éclairer sur la nature de la décomposition subie par le substratum employé. Si le pouvoir rotatoire augmente, c'est alors le glycocolle qui se détache le premier ; s'il cesse au contraire immédiatement, c'est le d-alanine qui est libéré tout d'abord. C'est à l'aide de cette méthode qu'on a pu montrer que les cellules cancéreuses renferment souvent des ferments ayant une action différente de celle des cellules normales. Or,

comme les ferments sont des produits de sécrétion des cellules, et que les fonctions de la cellule dépendent de sa structure, nous pouvons conclure de la présence de ferments atypiques à la structure spéciale de la cellule dont ces ferments proviennent.

Les idées que nous soutenons sur le rôle de la digestion jettent un jour tout nouveau sur un problème qui occupe depuis bien des années de nombreux chercheurs. Il s'agit de la question de *la préparation artificielle des substances alimentaires*. On peut affirmer aujourd'hui que ce problème est parfaitement soluble, tout au moins en théorie. Ce qui le faisait paraître si compliqué jusqu'à présent, c'est que tous les chercheurs qui s'y sont attaqué, avaient l'idée que les substances alimentaires sont assimilées par l'organisme à un très haut degré de complication. Il fallait donc préparer la cellulose, les graisses, les albumines, etc., c'est-à-dire des composés sur la structure desquels nous n'avons encore, le plus souvent, aucun moyen de nous orienter. Aujourd'hui le problème se trouve grandement simplifié. Il nous suffit, en effet, d'avoir tous les matériaux qui entrent dans la composition des différents aliments, notamment le glucose, les alcools, la glycerine, les acides gras, les acides aminés, ainsi que les éléments inorganiques. Toutes les substances en question ont déjà été obtenues par synthèse. Par la méthode inverse, en décomposant *in vitro* à l'aide de ferments et d'acides la viande, par exemple, en ses constituants élémentaires, on a réussi également à remplacer complètement la viande comme telle dans la nourriture des chiens. Les composants élémentaires et indifférents suffisent pleinement à assurer le métabolisme complet. La digestion dans l'éprouvette épargne à l'organisme la décomposition dans le tube digestif. Toutefois, en lui fournissant des matériaux élémentaires, on prive l'organisme de son influence régulatrice, au moyen de laquelle il accomplit par gradations insensibles la décomposition progressive des substances alimentaires. Dans le tube digestif, il se forme d'instant en instant des traces de matériaux élémentaires qui sont immédiatement résorbées, en sorte qu'il n'en passe jamais, à un moment quelconque, des quantités importantes dans l'économie. L'assimilation graduelle fait en quelque sorte équilibre à la résorption. Fournit-on au contraire à l'or-

ganisme rien que des substances élémentaires, il sera alors, en quelque sorte, en danger d'en être submergé. Des expériences directes sur le chien et sur l'homme ont prouvé qu'il est possible de maintenir l'organisme en parfaite santé pendant des semaines et même des mois. Il semble d'ailleurs que les aliments simplifiés soient appelés à jouer un rôle important dans le traitement des maladies. L'activité des ferments digestifs est-elle compromise, ou veut-on laisser reposer le tube digestif, on peut toujours obtenir une alimentation complète par le rectum, le passage à travers le tube digestif étant inutile lorsque la décomposition des aliments est déjà accomplie. Ce nouveau mode d'envisager le rôle et la nature de la digestion pourra profiter aussi aux nourrissons qui sont très sujets à des troubles de digestion. Bien qu'il soit possible de préparer des substances alimentaires dans le laboratoire, on peut croire que leur synthèse ne jouera jamais un rôle dans la pratique. Les plantes travaillent non seulement plus vite et plus économiquement, mais aussi d'une manière plus utile. A ce point de vue les chimistes ont résolu depuis longtemps le problème de la synthèse des substances alimentaires. Depuis que Græbe et Liebermann ont préparé artificiellement l'alizarine, le principe colorant de la garance, celle-ci a dû subir une concurrence acharnée. Dans ce combat, c'est la technique qui a remporté la victoire. Des espaces immenses qui servaient à la culture de la garance sont devenus disponibles pour la culture des céréales. Ce n'est pas le seul cas où la technique a pu lutter avec succès contre les produits naturels. Et n'a-t-on pas réussi tout récemment à préparer du caoutchouc par synthèse ?

Jusqu'à ces derniers temps l'agriculteur ne pouvait guère se réjouir de ces beaux résultats. Les terres disponibles n'étaient pas immédiatement utilisables, les composés azotés menaçant de faire défaut. Nous pouvons applaudir aujourd'hui sans arrière-pensée aux résultats obtenus par les chimistes et les physiciens, dont les efforts combinés ont abouti à la fixation de l'azote libre de l'air et à la production d'énormes quantités de nitrates destinés aux végétaux. L'agriculture peut prendre toujours plus d'extension. A mesure que nous améliorons les conditions d'existence des plantes, nous préparons un avenir meilleur pour le règne

animal. L'animal et la plante dépendent directement l'un de l'autre. La plante s'empare des substances éliminées par l'animal. Dès que l'animal est mort, les microorganismes se mettent à le démolir fiévreusement pierre par pierre, jusqu'à ce qu'il ne reste rien que des ruines du fier édifice. De ces ruines on voit bientôt sortir la plante avec sa structure particulière. Là où la mort avait à peine fini de moissonner, la splendeur des floraisons végétales frappe nos regards; et un animal apparaît déjà sur la scène. Il s'approprie les substances préparées par la plante, et les ferments de son tube digestif détruisent la structure merveilleuse de la cellule. Des matériaux indifférents sont devenus disponibles pour les cellules de l'organisme. Les cellules particulières se forment avec leurs fonctions spéciales. Chaque cellule est douée d'une organisation déterminée jusque dans les moindres détails. Des substances végétales ont donné naissance à un animal d'une espèce déterminée. Il devient à son tour la proie d'un carnassier qui se procure ainsi indirectement, aux dépens du règne végétal, les matériaux qui entrent dans la construction de ses cellules et les substances qui sont nécessaires aux échanges d'énergie et de substance. C'est ainsi que la plante et l'animal, l'animal et la plante, se succèdent l'un à l'autre en un cycle perpétuel, et que la vie éternelle sur la terre se déroule sous nos yeux.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AUX

FORTIFICATIONS DE SAINT-MAURICE

PENDANT LES MOIS DE

Juin, juillet et août 1911

(ÉTÉ 1911)

OBSERVATIONS DIVERSES

Juin 1911

Brouillard. — *Brouillard une partie de la journée :* les 10 et 14 à Savatan ; les 11, 19 et 25 à Dailly ; les 11 et 19 à l'Aiguille.

Fœhn : le 30 aux deux stations inférieures.

Orages : les 9, 14, 18, 19 et 23.

Juillet 1911

Orages : les 1, 14, 15, 19, 23, 26, 28, 30 et 31.

Août 1911

Orages : les 2, 6, 20, 21, 26 et 31.

Grêle : le 21 à 6 h. 1/4 à Lavey.

MOIS DE JUIN 1911

Jours du mois	Baromètre Hauteur moyenne Savatan	Baromètre Hauteur moyenne Dailly	Thermomètre Température moyenne Savatan	Thermomètre Température moyenne Dailly	Hygromèt. Fraction de saturation moyenne Savatan	Hygromèt. Fraction de saturation moyenne Dailly	Nébulosité moyenne Lavey	Nébulosité moyenne Savatan	Nébulosité moyenne Dailly	Pluie et Neige (hauteur mesurée) Lavey Pluie	Lavey Neige	Savatan Pluie	Savatan Neige	Dailly Pluie	Dailly Neige	Aiguille Pluie	Aiguille Neige
	mm.	mm.	°	°	%	%				mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.
1	703.7	658.5	+15.9	+12.8	75	69	9	9	9	1.1	....	....	....	0.2	....	0.3	....
2	706.9	661.0	14.9	11.9	87	98	9	9	10	**18.2**	....	13.0	....	13.2	....	13.1	....
3	705.4	660.5	14.5	10.9	82	86	7	6	5	0.8	....	1.0	....	0.2	...	0.4	....
4	706.5	661.6	15.8	13.1	70	63	2	3	4	....	....	....	....	....	....	....	....
5	708.8	663.5	18.3	15.4	58	44	4	2	2	0.6	....	0.4	....	0.2	....	0.1	....
6	708.3	663.6	19.0	15.1	58	37	3	3	3	....	....	....	....	....	....	....	....
7	710.2	665.4	19.2	17.0	47	25	0	2	1	....	...	....	....	....	....	....	....
8	706.9	663.1	**21.0**	17.3	48	29	1	2	2	....	....	....	...	....	....	....	....
9	700.5	656.4	17.3	15.0	69	46	6	6	5	12.5	....	10.0	....	10.8	....	9.1	....
10	697.9	653.5	12.7	9.7	100	100	10	10	10	7.2	....	8.0	....	9.8	....	9.7	....
11	701.2	655.9	12.9	9.2	68	68	7	5	6	....	...	....	....	....	....	....	....
12	700.3	655.9	14.4	10.3	53	42	6	5	7	....	....	....	....	....	....	....	....
13	**696.2**	**652.4**	12.3	9.7	82	65	10	9	10	14.8	....	**18.8**	....	**22.5**	....	**21.8**	....
14	702.7	655.6	**8.1**	**5.1**	87	81	10	8	9	5.8	....	6.0	....	5.6	....	5.4	....
15	707.7	660.7	11.0	7.1	46	38	3	3	4	....	....	....	....	....	....	....	....
16	707.3	661.9	12.4	11.1	56	23	9	4	9	....	....	....	....	....	....	....	...
17	703.9	660.3	18.5	**17.9**	54	21	6	3	8	....	....	...	....	0.1	....	0.2	....
18	703.2	658.7	17.7	14.8	74	56	9	4	9	12.0	....	8.2	....	7.6	....	7.4	....
19	701.2	656.7	15.0	11.5	79	87	9	7	9	11.0	....	12.2	....	10.2	....	10.0	....
20	706.1	659.8	11.9	8.3	87	71	9	6	9	4.5	....	4.2	....	4.8	....	4.9	....
21	708.8	663.3	13.7	10.7	53	42	2	3	2	....	....	....	....	....	...	....	....
22	707.8	663.2	15.8	13.1	61	46	0	1	1	....	....	....	....	....	....	....	....
23	703.2	659.8	17.2	13.8	72	59	7	5	9	14.5	....	7.3	....	3.9	....	4.1	....
24	702.2	656.8	12.5	9.7	91	97	10	9	10	4.5	....	5.8	....	6.9	....	7.1	....
25	705.0	658.8	12.0	9.3	94	100	10	9	10	4.7	....	6.0	....	5.4	....	5.6	....
26	706.2	660.8	12.8	9.4	68	59	6	2	4	0.4	....	0.5	....	0.8	....	0.9	....
27	709.6	663.0	11.5	7.2	72	87	10	9	9	4.7	....	5.2	....	5.9	....	4.9	....
28	**713.4**	**667.2**	13.8	10.6	50	39	1	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
29	711.0	666.8	17.2	15.1	51	26	0	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
30	706.2	661.8	20.1	17.4	**40**	**18**	6	5	6	....	....	....	....	....	....	....	....
Mois	705.28	660.22	+14.98	+11.98	68	57	6.0	5.0	6.0	117.3		106.6		108.1		105.0	

MOYENNES DU MOIS DE JUIN 1911

Pression atmosphérique.

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1re décade...	705.97	705.15	705.38	705.50	660.83	660.64	660.66	660.71
2me » ...	702.63	702.53	703.82	702.99	657.33	657.53	658.50	657.79
3me » ...	707.43	707.14	707.48	707.35	662.02	662.16	662.29	662.16
Mois..	705.34	704.94	705.56	705.28	660.06	660.11	660.48	660.22

Température.

	Savatan					
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	Minim. moyen	Maxim. moyen
	°	°	°	°	°	°
1re décade...	+13.78	+20.18	+16.60	+16.85	+12.4	+22.3
2me » ...	11.80	15.90	12.58	13.43	9.8	18.2
3me » ...	11.52	17.46	15.02	14.67	10.0	19.2
Mois..	12.37	17.85	14.73	14.98	10.7	19.9

	Dailly					
1re décade...	+12.20	+16.06	+13 21	+13.82	+10.7	+17.6
2me » ...	9.15	12.27	10.06	10.49	6.9	14.0
3me » ...	9.64	13.94	11.29	11.62	7.9	15.3
Mois..	10.33	14.09	11.52	11.98	8.5	15.6

Fraction de saturation en %

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade...	81	58	69	69	62	55	62	60
2me » ...	76	60	70	69	60	50	55	55
3me » ...	77	53	65	65	63	48	60	57
Mois..	78	57	68	68	62	51	59	57

Nébulosité.

	Lavey				Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade...	4.3	5.0	6.0	5.1	5.2	5.1	5.4	5.2	4.6	5.3	5.2	5.0
2me » ...	8.8	7.7	6.8	7.8	6.4	5.5	4.3	5.4	8 7	7.3	7.9	8.0
3me » ...	4.6	5.2	5.7	5.2	4.0	4.1	4.9	4.3	4.9	5.0	5.5	5.1
Mois..	5.9	6.0	6.2	6.0	5.2	4.9	4.9	5.0	6.1	5.9	6.2	6.0

MOIS DE JUILLET 1911

Jours du mois	Baromètre Hauteur moyenne		Thermomètre Température moyenne		Hygromèt. Fraction de saturation moyenne		Nébulosité moyenne			Pluie et Neige (hauteur mesurée) Lavey		Savatan		Dailly		Aiguille	
	Savatan	Dailly	Savatan	Dailly	Savatan	Dailly	Lavey	Savatan	Dailly	Pluie	Neige	Pluie	Neige	Pluie	Neige	Pluie	Neige
	mm.	mm.	°	°	%	%				mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.
1	**701.8**	**658.1**	+21.5	+20.5	49	**17**	7	4	7	....	....	0.2	...	0.1	....	0.2	....
2	702.2	658.9	19.4	16.6	69	56	7	8	9	1.4	....	0.7	....	0.6	....	0.4	....
3	709.7	663.3	16.5	12.7	64	58	6	6	4	....	....	....	....	....	....	....	....
4	710.9	665 0	**14.5**	**10.7**	**77**	**87**	8	8	8	....	....	....	....	....	....	....	....
5	710.3	665.9	16.8	13.4	71	75	2	2	0	....	....	....	....	....	....	....	....
6	709 0	664 5	18.3	15.7	69	61	1	1	3	....	....	....	....	....	....	....	....
7	709.1	664.6	19.6	16.7	69	54	4	3	2	....	....	....	....	....	....	....	....
8	710.9	666.4	21.1	18.8	62	39	0	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
9	709.7	665.8	22.5	19.5	44	27	1	2	1	....	....	....	....	....	....	....	....
10	707.4	663.6	18.1	14.6	65	55	3	3	4	....	....	....	....	0.3	....	0.2	....
11	706.4	664.0	17.4	14.3	58	45	2	3	1	....	....	....	....	....	....	....	....
12	707.8	663.5	19.3	14.8	52	38	3	2	1	....	....	....	....	....	....	....	....
13	707.3	663 3	19.0	15.9	59	39	7	6	6	0.3	....	....	....	....	....	....	....
14	706.2	662.4	18.3	16.1	63	14	1	1	3	**16.3**	....	15.5	....	13.1	....	13.2	....
15	705.7	661.6	19.1	15.9	55	49	2	2	2	0 3	....	0.8	....	2.2	....	2.1	....
16	704.1	659.9	19.5	15.8	52	50	4	6	4	....	....	....	....	....	....	....	....
17	702.6	658.7	19.4	15.9	53	37	1	3	1	....	....	....	....	....	....	....	....
18	703.9	659.7	20.9	18.0	**40**	26	0	1	4	....	....	....	....	....	....	....	....
19	706.8	663.3	20.7	16.8	41	28	5	7	7	0.2	....	....	....	0.8	....	0.9	....
20	709.0	665.1	21.9	18.8	51	33	1	1	2	....	....	....	....	....	....	....	....
21	**711.1**	666 2	22.1	19.2	54	36	0	1	0	....	....	....	....	....	....	....	....
22	710.7	**666.5**	23.7	21.2	51	29	1	0	1	....	....	....	....	....	....	....	....
23	709.4	666.0	**25.7**	**22.6**	42	26	3	3	4	....	....	....	....	....	....	....	....
24	707.8	663.2	22.1	20.5	69	36	6	6	6	16.0	....	**17.5**	....	**21.2**	....	**18.3**	....
25	705.3	662.0	23.1	20.6	44	34	2	3	2	....	...	....	....	....	....	....	....
26	706.0	661.9	21.7	19.6	41	32	2	1	2	4.0	....	3.4	....	0.1	....	0.3	....
27	706 6	663.3	23.5	19.9	42	29	0	1	2	....	....	....	....	....	....	....	....
28	708.4	664.1	21.3	19.1	49	34	4	3	4	5.0	....	7.4	....	7.3	....	6.4	....
29	706.5	663.2	22.6	21.3	52	28	1	4	1	....	....	....	....	....	....	....	....
30	704.8	661.7	24.3	21.8	43	24	4	5	4	9.5	....	10 0	....	13.9	....	11.6	....
31	704.0	660.8	21.3	18.5	67	50	9	7	8	...	....	....	....	....	....	....	....
Mois	707.14	663.11	+20.49	+17.61	55	41	3.0	3.3	3.3	53.0	....	55.5	....	59.6	....	53.6	....

MOYENNES DU MOIS DE JUILLET 1911

Pression atmosphérique.

	Savatan				Dailly			
	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.	7 h. m. mm.	1 h. s. mm.	9 h. s. mm.	Moyenne mm.
1re décade...	708.40	707.80	708.09	708.10	663.48	663.42	663.95	663.62
2me » ...	706.61	705.36	705.96	705.98	662.21	661.98	662.25	662.15
3me » ...	707.82	706.89	707.28	707.33	663.85	663.40	663.35	663.53
Mois..	707.62	706.69	707.12	707.14	663.20	662.95	663.19	663.11

Température.

	Savatan					
	7 h. m. °	1 h. s. °	9 h. s. °	Moyenne °	Minim. moyen °	Maxim. moyen °
1re décade ...	+15.22	+21.66	+19.58	+18.82	+14.8	+24.8
2e » ...	15.44	23.00	20.24	19.56	14.8	25.3
3e » ...	19.24	26.14	23.20	22.86	17.7	29.0
Mois..	16.72	23.68	21.08	20.49	15.8	26.4

	Dailly					
1re décade...	+13.99	+18.40	+15.31	+15.90	+12.3	+19.8
2me » ...	14.03	19.20	15.48	16.24	12.6	20.5
3me » ...	17.61	23.52	20.11	20.41	15.8	24.9
Mois..	15.29	20.47	17.07	17.61	13.7	21.9

Fraction de saturation en %

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	80	56	56	64	64	46	49	53
2me » ...	65	45	46	52	44	36	37	39
3me » ...	59	43	49	50	38	27	32	33
Mois..	68	48	51	55	48	36	39	41

Nébulosité.

	Lavey				Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade ...	4.6	4.0	2.4	3.7	4.8	3.6	2.7	3.7	3.9	3.4	4.0	3.8
2me » ...	1.6	3.6	2.4	2.5	1.9	4.5	3.4	3.3	1.1	4.1	3.9	3.0
3me » ...	1.5	2.6	4.7	2.9	1.9	2.3	5.1	3.1	1.6	2.7	4.6	3.0
Mois..	2.5	3.4	3.2	3.0	2.8	3.4	3.8	3.3	2.2	3.4	4.2	3.3

MOIS D'AOUT 1911

Jours du mois.	Baromètre Hauteur moyenne Savatan	Baromètre Hauteur moyenne Dailly	Thermomètre Température moyenne Savatan	Thermomètre Température moyenne Dailly	Hygromèt. Fraction de saturation moyenne Savatan	Hygromèt. Fraction de saturation moyenne Dailly	Nébulosité moyenne Lavey	Nébulosité moyenne Savatan	Nébulosité moyenne Dailly	Pluie et Neige (hauteur mesurée) Lavey Pluie	Lavey Neige	Savatan Pluie	Savatan Neige	Dailly Pluie	Dailly Neige	Aiguille Pluie	Aiguille Neige
	mm	mm.	°	°	%	%				mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.	mm.	cm.
1	704.9	660.6	+22.6	+20.3	58	42	3	0	1	....	....	....	....	....	....	....	....
2	708.1	664.0	21.7	18.8	56	36	8	6	5	....	....	....	....	....	....	....	....
3	707.4	663.7	21.9	18.7	54	39	1	1	2	....	....	....	....	....	....	....	....
4	706.1	662.1	23.2	17.9	50	42	3	2	5	....	....	....	....	....	....	....	....
5	704.5	661.1	22.1	18.1	49	46	1	0	1	3.5	....	2.5	....	2.1	....	2.6	....
6	706.4	662.9	19.4	17.2	74	72	6	6	7	13.5	....	16.5	....	14.9	....	15.2	....
7	708.5	664.1	20.7	18.2	63	52	6	4	7	....	....	....	....	1.7	....	1.4	....
8	709.0	**664.8**	22.7	20.0	46	38	1	1	3	....	....	....	....	....	....	....	....
9	708.3	664.2	24.1	**21.7**	44	29	0	0	1	....	....	....	....	....	....	....	....
10	706.4	662.1	**24.4**	21.6	38	22	0	1	0	....	....	....	....	....	....	....	....
11	703.5	660.2	23.4	21.2	35	19	0	0	1	....	....	....	....	....	....	....	....
12	704.9	660.8	21.7	19.5	39	24	1	2	2	....	....	....	....	....	....	....	....
13	706.5	662.0	21.9	18.6	52	37	2	3	3	....	....	....	....	....	....	....	....
14	705.6	661.6	22.1	19.4	44	28	2	3	1	....	....	....	....	....	....	....	....
15	703.7	659.7	22.5	19.3	39	22	2	1	2	....	....	....	....	....	....	....	....
16	704.3	659.6	19.7	15.6	46	34	1	1	1	....	....	....	....	....	....	....	....
17	707.1	661.9	18.9	15.1	48	37	0	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
18	705.4	660.9	20.3	17.6	39	23	1	1	1	....	....	....	....	....	....	....	....
19	702.5	658.4	21.9	19.9	**33**	**17**	1	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
20	701.3	656.7	23.3	20.1	39	50	6	5	6	5.0	....	4.6	....	3.6	....	3.4	....
21	**699.0**	655.4	18.6	15.1	67	78	10	8	9	11.3	....	10.0	....	8.9	....	8.8	....
22	700.0	**654.6**	19.1	16.6	74	68	10	10	8	0.2	....	....	....	0.2	....	0.3	....
23	700.7	656.4	16.8	14.3	**85**	**87**	10	9	7	2.8	....	2.5	....	3.3	....	3.6	....
24	704.0	658.3	16.9	13.7	63	55	4	5	2	0.2	....	0.5	....	0.4	....	0.5	....
25	705.2	660.7	18.3	13.9	58	48	2	3	2	12.5	....	13.2	....	11.1	....	10.1	....
26	708.9	662.9	**16.0**	**12.4**	72	69	6	7	5	1.2	....	....	....	0.5	....	0.4	....
27	709.0	663.7	17.7	14.6	58	43	0	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
28	708.2	663.3	20.0	18.0	52	32	0	0	0	....	....	....	....	....	....	....	....
29	708.5	663.8	22.3	20.2	46	22	0	0	1	....	....	....	....	....	....	....	....
30	707.4	663.5	22.2	19.8	50	29	1	2	1	**17.2**	....	**19.6**	....	**23.7**	....	**22.9**	....
31	**709.3**	663.6	+16.4	+11.1	71	69	5	5	4	....	....	....	....	....	....	....	....
Mois	705.64	661.22	+20.72	+17.79	53	42	3.1	2.8	2.8	67.4		69.4		70.4		69.2	

MOYENNES DU MOIS D'AOUT 1911

Pression atmosphérique.

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1re décade...	707.36	706 44	707.06	706.95	663.11	662.89	662.93	662.98
2me » ...	705.14	704.21	704.14	704.50	660.49	660.26	659.89	660.18
3me » ...	705.43	705.25	705.75	705.48	660.36	660.51	660.83	660.57
Mois..	705.96	705.30	705.66	705.64	661.26	661.19	661.21	661.22

Température.

	Savatan					
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	Minim. moyen	Maxim. moyen
	°	°	°	°	°	°
1re décade...	+18.34	+25.80	+22.66	+21.93	+17.3	+28.0
2me » ...	17.44	24.70	22.54	21.56	16.6	28.1
3me » ...	15.76	21.51	18.44	18.57	14.6	23.5
Mois..	17.14	23.92	21.12	20.72	16.1	26.4

	Dailly					
1re décade ..	+16.46	+22.50	+18.78	+19.25	+15.6	+23.8
2me » ...	15.36	21.60	18.93	18.63	14.7	23.1
3me » ...	13.52	18.43	15.20	15.71	12.1	20.3
Mois..	15.06	20.76	17.56	17.79	14.1	22.3

Fraction de saturation en %

	Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade...	62	45	53	53	47	37	41	42
2me » ...	51	37	36	41	33	27	27	29
3me » ...	73	54	62	63	66	46	51	55
Mois..	62	46	51	53	49	37	40	42

Nébulosité.

	Lavey				Savatan				Dailly			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
1re décade...	3.4	3.3	2.6	3.1	2.5	2.9	1.0	2.1	3.3	3.2	2.7	3.1
2me » ...	1.6	2.0	1.2	1.6	1.9	2.3	0.9	1.7	1.8	2.0	1.0	1.6
3me » ...	4.9	4.9	3.3	4.4	4.5	5.1	3.8	4.5	4.4	4.1	2.3	3.6
Mois..	3.4	3.5	2.4	3.1	3.0	3.5	2.0	2.8	3.2	3.1	2.0	2.8

QUATRE-VINGT-QUATORZIÈME SESSION

DE LA

SOCIÉTÉ HELVÉTIQUE DES SCIENCES NATURELLES

Réunie à Soleure du 31 juillet au 2 août 1911

COMPTE RENDU DE LA SÉANCE

DE LA

SOCIÉTÉ SUISSE DE CHIMIE

du 1er août 1911

Présidents : M. le prof. Fr. FICHTER (Bâle).
» Amé PICTET (Genève).
» Ed. SCHÆR (Strasbourg).
Secrétaire : M. le Dr J. SCHMIDLIN (Zurich).

E. Nœlting. Conférence sur la vie et l'œuvre scientifique de St. de Kostanecki. — E. Cardoso. Constantes critiques des gaz. — G. Baume. Poids atomique du chlore. — A. Bistrzycki. Contribution à la connaissance des ortho-diamines. — A. Kaufmann. Formation des quinolones par oxydation. — F. Reverdin. Nitration de quelques acyl-p-anisidines. — P. Pfeiffer. Contribution à l'étude des laques colorées. — A. Pictet. Sur un hydrocarbure retiré de la houille. — O. Baudisch. Sur l'assimilation des nitrates et nitrites. — A. Werner. Composés du cobalt optiquement actifs. — A. Gams. Synthèse de la berbérine. — E. Schär. Sur quelques enzymes du genre de l'émulsine.

La Société nomme membre honoraire, M. le prof. E. Nœlting (Mulhouse).

Elle décide d'entrer dans l'*Association internationale des sociétés chimiques* et désigne comme ses délégués au Conseil de l'Association MM. les prof. Ph.-A. Guye (Genève), A. Werner (Zürich) et le président de la Société.

M. le prof. NŒLTING fait une conférence sur *la vie et les travaux de St. de Kostanecki* (1860-1910).

Les communications scientifiques suivantes sont présentées :

E. Cardoso (Genève). *Constantes critiques des gaz.*

L'auteur expose sommairement le principe de la méthode qui lui a permis de reviser les constantes critiques (température, pression) d'un certain nombre de gaz. Les résultats obtenus sont les suivants :

Auteurs	*Gaz*	t_c	p_c (*atm.*)
Cardoso et E. Arni	C_2H_4	9.5	50.8
» »	N_2O	36.5	71.95
» »	H_2S	100.4	89.30
Cardoso et R. Bell	CO_2	31.0	73.0
» »	C_2H_6	32.1	49.0
» »	SO_2	157.15	77.95
Cardoso et G. Baume	C_2N_2	128.3	59.8
» »	C_2H_2	35.5	61.7
Cardoso et Mlle Giltay	NH_3	132.9	113.10
Cardoso et A. Germann	HCl	51.3	83.6

M. Cardoso a étudié l'*opalescence critique* à l'aide d'un petit agitateur électromagnétique qui lui permettait d'agiter le gaz comprimé et chauffé. Pour les gaz C_2H_4, N_2O, CO_2, C_2H_6, C_2N_2, C_2H_2 et NH_3, il a trouvé que l'opalescence commence à 4 ou 5 dixièmes de degré au-dessous du point critique et prend fin au point critique lui-même. Il considère ce phénomène comme purement mécanique. Il pense que l'opalescence est due à l'émulsion des deux phases se produisant en raison des densités très voisines.

L'auteur rend compte d'un certain nombre d'expériences qu'il a faites pour vérifier la *loi du diamètre rectiligne* au voisinage du point critique. Il a choisi pour cette étude l'*anhydride sulfureux*. Il a obtenu un diamètre qui s'incurve au voisinage du point critique. La densité critique est abaissée d'environ 1 % (0,513 au lieu de 0,520). Cette incurvation peut être due au dispositif expérimental ou à l'idée que l'on se fait de l'état critique. Dans le premier cas, on pourrait l'attribuer à plusieurs causes, par exemple à l'entraînement de vésicules dans la phase gazeuse ou à de très légères différences de température dans l'étuve, ou enfin, bien que cela paraisse moins probable, à des retards de vaporisation. M. Cardoso a entrepris des expériences pour élucider cette question. Au point de vue théorique, il se propose, avec la collaboration de M. G. Baume, de relier l'étude de ce phénomène à certaines considérations déduites de l'équation d'état.

G. Baume et F.-L. Perrot (Genève). *Sur le poids atomique du chlore.*

Les auteurs ont entrepris une nouvelle série de déterminations rapides et précises du poids atomique du chlore, en combinant

avec l'acide chlorhydrique gazeux une quantité connue d'ammoniac liquide. Le principe de la méthode et l'appareil employé dérivent directement de ceux que M. Baume a réalisés pour la détermination des courbes de fusibilité des mélanges gazeux, en mettant à profit la faible volatilité de certains composés d'addition fournis par les gaz liquéfiés ($NH_3.HCl$, etc.) après refroidissement convenable du système étudié.

L'appareil, entièrement construit en verre soudé, comprenait :

1° un système générateur et purificateur (chimique et physique), des deux gaz étudiés, que des liquéfactions et fractionnements successifs amenaient rapidement à l'état de pureté nécessaire (1 : 10.000);

2° deux ballons jaugés, permettant de mesurer des masses connues de gaz, grâce au manomètre joint à l'appareil ;

3° un tube-laboratoire en verre épais, de forme un peu spéciale, comportant un robinet tenant parfaitement le vide et des pressions de quelques atmosphères, ainsi qu'un joint plat rodé permettant de le réunir au reste de l'appareil ou de l'en séparer facilement.

Des pesées convenables de ce dernier tube, d'abord vide, puis avec une quantité approximativement connue (par voie volumétrique) d'ammoniac liquide, puis, après addition d'acide chlorhydrique, et enfin après élimination de l'excès d'ammoniac, permettent de calculer aisément la valeur du rapport $NH_3 : HCl$, d'où la valeur du poids atomique du chlore, rapporté à N et à H.

Les premiers réultats sont satisfaisants ; ils conduisent à la valeur $Cl = 35.466$ (pour $N = 14.010$ et $H = 1.0076$), très voisine de celles qu'ont fournies jusqu'ici les meilleures déterminations. La même méthode semble applicable à plusieurs autres systèmes ammoniacaux.

A. Bistrzycki et G. Przeworski (Fribourg). *Contribution à la connaissance des ortho-diamines.*

M. Georgescu a obtenu, en 1892, par condensation des *o*-diamines avec les oxy-acides, des composés qu'il a regardés comme des dérivés de la quinoxaline. Il donna, par exemple, la formule I au produit préparé avec l'*o*-toluylène-diamine et l'acide lactique. Plus tard, Hinsberg a montré que cette formule appartient à un corps tout différent, et proposé pour celui de Georgescu la formule II.

$$CH_3.C_6H_3\begin{array}{l}\diagup NH-CH-CH_3 \\ \qquad\quad\ \ | \\ \diagdown NH-CO\end{array} \qquad\qquad CH_3.C_6H_3\begin{array}{l}\diagup NH\diagdown \\ \diagdown N\ \diagup\!\!\diagup\end{array}C-CHOH-CH_3$$

$$\text{I} \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad \text{II}$$

Les auteurs ont prouvé expérimentalement la justesse de la supposition de Hinsberg. Le composé qu'ils ont préparé à l'aide

de l'*o*-phénylène-diamine et de l'acide glycolique possède la formule III, car il donne par oxydation un acide (IV), que l'on peut facilement convertir à son tour en *benzimidazol* (V):

$$C_6H_4\left\langle\begin{matrix}NH\\N\end{matrix}\right\rangle C-CH_2OH \qquad C_6H_4\left\langle\begin{matrix}NH\\N\end{matrix}\right\rangle C-COOH \qquad C_6H_4\left\langle\begin{matrix}NH\\N\end{matrix}\right\rangle CH$$

III IV V

De même, le produit de condensation de l'*o*-phénylène-diamine et de l'acide amygdalique

$$C_6H_4\left\langle\begin{matrix}NH\\N\end{matrix}\right\rangle C-CHOH-C_6H_5$$

fournit par oxydation une cétone.

Quant aux composés semblables dérivant des oxy-acides à hydroxyle alcoolique tertiaire, tels que l'acide benzilique, la preuve qu'ils sont aussi des dérivés du benzimidazol n'a pu encore être fournie d'une manière certaine.

A l'occasion de ces recherches, il a été constaté que les benzimidazols, qui passaient pour ne pouvoir être acétylés, le sont au contraire très aisément lorsqu'on les fait bouillir avec de l'anhydride acétique. Il se forme alors des dérivés du type

$$C_6H_4\left\langle\begin{matrix}NH-COCH_3\\N\end{matrix}\right\rangle CH$$

Il est vrai que ceux-ci sont très facilement saponifiables.

A. Kaufmann (Genève). *Formation des quinolones par oxydation.*

A. Kaufmann et P. Strübin ont montré que les 2-quinolanols fournissent facilement, par transposition et ouverture de leur noyau pyridique, des dérivés de l'aldéhyde cinnamique. L'auteur a étendu cette étude aux dérivés de la quinoline substitués dans la position 2.

L'*iodométhylate de 2-phénylquinoline* (I) donne sous l'action des alcalis un corps qui possède toutes les propriétés des pseudobases, et auquel on doit attribuer, ou la formule II, ou plus probablement la formule III :

I: C_6H_5; N; I, CH_3
II: C_6H_5, OH; N; CH_3
III: CH; CH; $CO.C_6H_5$; NH; CH_3

I II III

*

Ce corps est facilement oxydable ; traité par le ferricyanure de potassium en présence d'alcali, il fournit un produit d'oxydation très stable, qui fond à 123° et possède la formule $C_{16}H_{15}NO_2$. Celui-ci se dissout facilement dans les acides étendus, en formant, avec élimination d'une molécule d'eau, les sels d'une nouvelle base oxygénée. Le chlorydrate, $C_{16}H_{14}NOCl$ (pt de fus. 237°) perd à 250° du chlorure de méthyle et se convertit en *4-oxy-2-phényl-quinoline* fusible à 256°. Ces faits trouvent leur interprétation dans les schémas suivants :

CH, CH, CO.C₆H₅, NH, CH₃ → CO, CH₂, CO.C₆H₅, NH, CH₃ → CO, CH₂, C.C₆H₅, N, Cl, CH₃ → COH, CH, C.C₆H₅, N

A. Kaufmann et A. Albertini avaient montré, en outre, que les sels quaternaires de quinoline donnent avec le cyanure de potassium les *4-cyano-quinolanes* (IV), et que l'oxydation transforme très facilement ceux-ci en *4-cyano-2-quinolones* (V). L'explication de cette dernière réaction est la même : il y a hydroxylation en 4, fixation d'eau à la double liaison éthylénique, rupture du noyau pyridique, puis oxydation de l'aldéhyde cinnamique en acide, et enfin refermeture du noyau pyridique avec élimination de deux molécules d'eau :

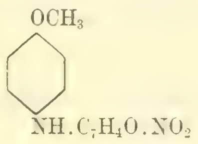
CH–CN, CH, CH, N, R (IV) → COH–CN, CH, CH, N, R → COH–CN, CH₂, CHO, NH, R → C–CN, CH, CO, N, R (V)

On peut attribuer un mécanisme analogue à toutes les oxydations conduisant des bases quaternaires aux quinolones, en admettant que l'hydroxyle fixé à l'azote émigre d'abord dans la position 4. On explique également ainsi pourquoi les quinolines substituées en 2 donnent par oxydation des dérivés de la 4-oxyquinoline. Il restera, pour vérifier définitivement cette hypothèse, à établir la formation intermédiaire réelle des 4-quinolanols, ou tout au moins à démontrer qu'ils ne sont pas identiques aux pseudobases.

F. Reverdin (Genève). *Nitration de quelques acyl-p-anisidines.*

Des recherches antérieures, faites avec divers collaborateurs, ont montré que, lors de la nitration des dérivés benzoylés du

p-aminophénol et de la *p*-anisidine, il entre souvent un groupe NO_2 dans le radical benzoyle. Cette observation a engagé l'auteur à examiner comment se comporteraient à la nitration des dérivés dans lesquels cette substitution existerait déjà dans le radical benzoyle, et à déterminer en même temps si la position du groupe NO_2 dans ce radical aurait une influence sur la nature des produits et sur la facilité avec laquelle se formeraient en particulier les dérivés les plus nitrés. Il a étudié dans ce but les trois *nitro-benzoyl-p-anisidines :*



(NO_2 en *ortho*, *méta* et *para*).

Ces trois composés sont en jolies aiguilles jaune pâle plus ou moins verdâtre ; le dérivé *ortho* fond à 170°, le *méta* à 174,5° et le *para* à 197°.

La nitration a été faite avec des acides nitriques de densités 1,52 et 1,4, soit seuls, soit en présence d'acide acétique. Il s'est formé, suivant les conditions, des dérivés mononitrés (orangés), dinitrés (jaune citron ou jaune pâle) et trinitrés (blancs). Leur constitution a été établie par l'examen de leurs produits de saponification au moyen de l'acide sulfurique. On a obtenu avec les trois isomères des produits semblables quant à la position des groupes NO_2, produits qui sont principalement des dérivés de la mononitro-3-*p*-anisidine, de la dinitro-2-3- et de la trinitro-2-3-6-*p*-anisidine.

Si l'on compare les résultats de ces essais avec ceux qui ont été faits précédemment, dans les mêmes conditions, avec la benzoyl-*p*-anisidine, on constate que dans la nitration des nitrobenzoyl-*p*-anisidines avec l'acide nitrique de densité 1,52, on obtient directement, en quantités plus ou moins grandes, les dérivés trinitrés dans le noyau. Dans les mêmes conditions, la benzoyl-*p*-anisidine n'en fournit qu'une très petite quantité et on est obligé d'opérer la nitration en deux phases pour arriver à un résultat analogue. Le groupe NO_2 du radical benzoyle favorise donc la nitration, soit par la concentration de l'acide qui doit rester plus élevée, soit par l'acidité qu'il confère à la molécule. La présence de ce groupe, ainsi que sa position, paraissent, en revanche, être sans influence sur les positions des groupes NO_2 introduits dans le noyau, qui sont, d'une manière générale, les mêmes.

La saponification des dérivés obtenus présente des différences notables. Tandis que tous les dérivés de l'*o*-nitrobenzoyl-*p*-ani-

sidine et les dérivés trinitrés dans le noyau des trois isomères sont facilement saponifiables par le procédé habituel, qui consiste à chauffer pendant une heure au bain-marie leur solution dans l'acide sulfurique concentré, les dérivés mono- et dinitrés dans le noyau des *m*- et *p*-nitrobenzoyl-*p*-anisidines sont difficilement saponifiables ; on est obligé d'ajouter de l'eau goutte à goutte à leur solution sulfurique, ou sulfurique et acétique, et de chauffer au bain-marie jusqu'à 8 et 12 heures. La position du groupe NO_2 dans le radical benzoyle paraît donc avoir une influence sur la stabilité de ces composés vis-à-vis de l'acide sulfurique concentré.

P. Pfeiffer (Zurich). *Contribution à l'étude des laques colorées.*

L'auteur a préparé des laques colorées dérivant d'oxycétones et d'oxyquinones. Elles se sont montrées, conformément à la théorie de Tschugaeff-Werner, être des sels complexes internes ; leur coloration doit être attribuée à un phénomène d'halochromie intramoléculaire.

L'*o-oxy-acétophénone* donne avec le chlorure stannique un composé presque incolore de la formule

La *m*- et la *p-oxy-acétophénone* ne fournissent point de combinaison analogue.

Les composés stanniques de la *résacétophénone* (jaune pâle) et de la *quinacétophénone* (jaune vif) possèdent les formules

Ceux de l'*euxanthone* (orangé) et de l'*alizarine* (noir violet) sont :

Le composé de l'alizarine se transforme à l'air en un hydrate jaune-orangé ; c'est de lui que dérive la laque stannique non chlorée de l'alizarine, qui est d'un rouge orangé très vif.

Les composés stanniques de la *gallacétophénone* (jaune foncé) et de la *gallobenzophénone* (orangé) sont des produits disubstitués :

OH O $SnCl_2$ O C=O CH_3 et O $SnCl_2$ O C=O C_6H_5

A. Pictet et L. Ramseyer (Genève). *Sur un hydrocarbure retiré de la houille.*

Les auteurs ont cherché à retirer de la houille des composés définis et à établir leur nature chimique. Ils ont employé pour cela deux méthodes : l'extraction par les dissolvants organiques et la distillation sous pression réduite. En traitant 200 k. de houille pulvérisée (provenant de Montrambert, Loire) par le benzène bouillant, ils ont obtenu environ 300 gr. d'un liquide brun foncé, qu'ils ont soumis à la distillation fractionnée sous une pression de 10 mm. L'analyse a montré que toutes les fractions (entre 110 et 265°) ont une composition identique, correspondant à la formule brute $C_{13}H_{16}$. Le poids moléculaire de la fraction la plus basse répond aussi à cette formule ; celui des fractions suivantes s'élève graduellement, pour devenir presque double dans la fraction supérieure. On a donc affaire à un mélange de l'hydrocarbure $C_{13}H_{16}$ avec son dimère $C_{26}H_{32}$, mélange qu'il est impossible de séparer par distillation fractionnée, car la polymérisation se poursuit sous l'action de la chaleur et à chaque opération les fractions supérieures s'enrichissent au dépens des inférieures.

Seule la fraction inférieure a été soumise à une étude plus complète. Elle constitue un liquide incolore, doué d'une belle fluorescence violette et d'une odeur rappelant celle des terpènes. Sa densité est 0,920 à 20°, son point d'ébullition 250° à la pression ordinaire. La constitution de l'hydrocarbure $C_{13}H_{16}$ résulte des faits suivants :

Distillé à travers un tube chauffé au rouge, il perd de l'hydrogène et se convertit en *fluorène*, $C_{13}H_{10}$. Traité à froid par le brome, il donne les *mono-* et *dibromofluorènes* déjà connus. Il constitue donc un *hexahydrofluorène*.

Par oxydation au moyen du permanganate de potasse on

obtient les acides *adipique, oxalique* et *acétique*, mais pas d'acide phtalique. Sous l'action de l'acide nitrique concentré, l'hydrocarbure donne une *dinitro-tétrahydro-fluorénone*. Cela montre que des 6 atomes d'hydrogène d'addition, 4 se trouvent dans l'un des noyaux benzéniques du fluorène et 2 dans l'autre.

$$\begin{matrix} C_6H_8 \diagdown \\ | \quad\quad > CH_2 \\ C_6H_6 \diagup \end{matrix}$$

La distillation de la même houille sous pression réduite (10 mm.) et à une température inférieure à 450°, a fourni également, mais avec un rendement beaucoup plus fort (3,5 %), un mélange d'hydrocarbures liquides. Parmi ceux-ci se trouve le même *hexahydrofluorène*. Les autres n'ont pas encore été déterminés, mais il est probable qu'ils appartiennent aussi à la série hydro-aromatique, car aucun d'eux ne donne d'acides aromatiques par oxydation au moyen du permanganate.

Il résulte de ces premiers essais que la houille renferme des hydrocarbures hydro-aromatiques plus ou moins polymérisés. Sous l'action d'une haute température, ceux-ci perdent de l'hydrogène et se transforment en carbures aromatiques. C'est donc là une des réactions qui donnent naissance aux hydrocarbures aromatiques du goudron, ainsi qu'à l'hydrogène du gaz d'éclairage.

O. Baudisch (Zurich). *Sur l'assimilation des nitrates et nitrites.*

L'étude de la réduction des nitrates et nitrites sous l'influence de la lumière en présence d'alcool méthylique ou d'aldéhyde formique est particulièrement intéressante au point de vue de la chimie végétale. L'auteur a fait, à ce sujet, les observations suivantes, en collaboration avec MM. Mayer et Klinger.

Lorsqu'on soumet à l'action de la lumière solaire une solution aqueuse de nitrite de potassium (calcium, magnésium) additionnée d'alcool méthylique, il se forme du carbonate de potassium (calcium, magnésium). Le mécanisme de la réaction est probablement le suivant :

$$KNO_2 \rightleftharpoons KNO + O$$
$$CH_3OH + O = CH_3O.OH$$
$$CH_3O.OH = CH_2O + H_2O$$
$$CH_2O + KNO = {}^{HO}_{H}{>}C{=}NOK$$

Or, on sait que les formhydroxamates alcalins se décomposent facilement, en solution aqueuse, en ammoniaque et carbonates alcalins.

Lorsqu'on expose à la lumière solaire une solution aqueuse étendue de nitrite de potassium, additionnée d'aldéhyde formique

et (pour neutraliser l'acide formique qui prendra naissance) de carbonate de magnésie, on voit se dégager un gaz. Celui-ci est formé par parties égales de protoxyde d'azote et d'hydrogène. Le nitrite disparaît entièrement; une petite partie de son azote se retrouve, en outre, à l'état d'ammoniaque, une plus grande sous une forme qui n'a pas encore été déterminée.

Si, dans l'expérience précédente, on laisse de côté le carbonate de magnésie, le gaz qui se dégage a la composition suivante : CO_2 5,49; CO 1,89; O_2 2,34; H_2 7,17; N_2O 64,40 % (analyse faite par M. Füller). Le nitrite finit aussi par disparaître complètement, mais on obtient ici, à côté de l'ammoniaque, de grandes quantités de nitrate de potassium.

La formation d'hydrogène est particulièrement intéressante. Il est à peu près certain qu'elle est due à l'action de l'oxygène naissant sur l'aldéhyde formique. On sait, en effet, que dans ces conditions il se produit de l'acide formique et de l'hydrogène.

Donc, dans le système $KNO_2 + CH_2O +$ lumière, il se forme de l'oxygène actif, de l'hydrogène naissant et du carbonate de potasse. Ce phénomène comporte plusieurs explications ; la meilleure est, selon l'auteur, la suivante :

$$KNO_2 \rightleftharpoons KNO + O$$
$$CH_2O + KNO = H_2C{<}^{OK}_{NO}$$
$$H_2C{<}^{OK}_{NO} \rightarrow H_2C=NOOK \rightarrow {}^{H}_{HO}{>}C=NOK$$

Si telle est bien la suite des réactions, la formation des acides aminés et de l'acide cyanhydrique dans les plantes pourrait à son tour s'interpréter comme suit :

$CH_2=NOOK$ + formaldéhyde = isonitrobutylglycérine (valine, leucine)
$CH_2=NOOK$ + anisaldéhyde = méthoxyphényléthylamine (hordénine)
$CH_2=NOOK \rightarrow CH_2=NOH \rightarrow$ formamide $\rightarrow$ acide cyanhydrique
$CH_2=NOK$ + formaldéhyde = dioxyacétone-oxime (sérine, alanine)

A. Werner (Zurich). *Composés du cobalt optiquement actifs.*

Les sels de la série chloro-nitro-di-éthylène-diamine-cobaltique

$$\left[{}^{Cl}_{O_2N}\,Co.\,en_2\right]X$$

ont pu être dédoublés en leurs deux modifications optiquement actives. Les sels actifs montrent en solution aqueuse le phénomène de la multirotation. Cela vient de ce qu'ils s'y transforment en sels nitro-aquo-di-éthylène-diamine-cobaltiques, qui ont un pouvoir rotatoire plus prononcé :

$$\left[{}^{Cl}_{O_2N}\,Co.\,en_2\right]Cl + H_2O = \left[{}^{H_2O}_{O_2N}\,Co.\,en_2\right]Cl_2$$

Par double décomposition des sels chloronitro actifs avec le nitrite de soude, on obtient les sels dinitro-di-éthylène-diamine-cobaltiques actifs

$$\left[\begin{matrix}Cl \\ O_2N\end{matrix}\ Co\,.\ en_2\right] Cl + NaNO_2 = \left[\begin{matrix}O_2N \\ O_2N\end{matrix}\ Co\,.\ en_2\right] Cl + NaCl$$

Ceux-ci montrent une dispersion rotatoire anormale très forte.

Les sels dinitro actifs ont pu être préparés, d'autre part, à l'aide de leurs racémiques, par combinaison avec des acides actifs. Le *d*-camphre-sulfonate de *l*-dinitro-di-éthylène-diamine-cobalt est facilement soluble; le *d*-camphre-sulfonate de *d*-dinitro-di-éthylène-diamine est facilement soluble. Le *d*-bromocamphre-sulfonate de *d*-dinitro-di-éthylène-diamine-cobalt est peu soluble; le *d*-bromocamphre-sulfonate de *l*-dinitro-di-éthylène-diamine-cobalt est très soluble. On peut, en se basant sur ces propriétés, opérer le dédoublement d'une manière presque quantitative.

Dans le radical complexe des sels dinitro-di-éthylène-diamine-cobaltiques

$$\left[(O_2N)_2\,.\ Co\,.\ en_2\right]X$$

l'atome de cobalt n'est *pas* asymétrique. L'isomérie stéréochimique ne peut résulter que de la dissymétrie de la *molécule*. C'est là un cas plus simple que tous ceux qui ont été observés jusqu'ici chez les composés du carbone.

Une des conséquences de l'adoption de la *formule octaédrique* est que les sels trans-dinitro-di-éthylène-diamine-cobaltiques ne peuvent pas présenter d'isomérie optique. Cette conséquence a été confirmée par l'expérience. Bien qu'on ait pu préparer des sels bien cristallisés de cette série avec des acides actifs, les composés qu'on en a retirés se sont montrés sans exception inactifs.

A. Gams et A. Pictet (Genève). *Synthèse de la berbérine.*

La synthèse de la berbérine a pu être réalisée en passant par celle de la *tétrahydroberbérine*. On sait que cette dernière base s'obtient aisément par réduction de la berbérine et qu'elle la régénère sous l'action des oxydants faibles. Sa constitution, établie par les travaux de Perkin, Gadamer et Faltis, est exprimée par la formule

CH2
CH2<O O
CH2
N
HC CH2
H2C
OCH3
OCH3

Les auteurs ont obtenu l'hydroberbérine au moyen des quatre réactions suivantes :

1. Condensation de l'homopipéronylamine avec le chlorure homovératrique, ce qui fournit l'*homovératroyl-homopipéronylamine* I.

2. Déshydratation de ce composé par l'action de l'anhydride phosphorique sur sa solution xylénique bouillante. Il se forme par cyclisation la base isoquinolique II.

3. Réduction de cette base par l'étain et l'acide chlorhydrique. Cette opération donne naissance à la *vératryl-norhydrohydrastinine* III.

I II III

4. Traitement de la vératryl-norhydrohydrastinine, dissoute dans un excès d'acide chlorhydrique concentré, par le méthylal, à la température du bain-marie

$$+ CH_2(OCH_3)_2 = \quad + 2CH_3OH$$

Le produit de cette dernière réaction s'est montré, de tout point, identique à l'hydroberbérine obtenue par réduction de la berbérine naturelle. Cette synthèse entraîne celle de la berbérine, l'hydroberbérine ayant déjà été transformée en berbérine par l'action de divers oxydants. Les auteurs ont néanmoins répété l'opération avec leur produit et obtenu les différents sels de ber-

bérine avec tous les caractères que présentent ceux de l'alcaloïde naturel.

Ed. SCHÄR et L. ROSENTHALER (Strasbourg). *Sur quelques enzymes du genre de l'émulsine.*

Une série de travaux, exécutés dans ces dernières années à l'Institut pharmaceutique de Strasbourg, ont eu pour objet l'étude de l'hydrolyse de l'amygdaline par l'émulsine. On sait que cette hydrolyse fournit, comme produits finaux, 1 molécule d'acide cyanhydrique, 1 molécule d'aldéhyde benzoïque et 2 molécules de glucose pour une molécule d'amygdaline. Les travaux en question ont établi qu'il ne s'agit point ici d'une scission simple et directe, mais que le phénomène se passe en trois phases successives, dans chacune desquelles agit une enzyme spéciale, formant partie constituante du mélange complexe désigné jusqu'ici sous le nom d'*émulsine*. Le mécanisme est le suivant :

1. Une première enzyme (*amygdalase*) dédouble le disaccharide amygdaline en 1 molécule de glucose et 1 molécule du glucoside du nitrile amygdalique.

2. Une seconde enzyme (β-*glucosidase*) dédouble ce dernier glucoside en une seconde molécule de glucose et 1 molécule de nitrile amygdalique (*d*-benzaldéhyde-cyanhydrine).

3. Une troisième enzyme (δ-*d-oxynitrilase*) décompose la cyanhydrine en aldéhyde benzoïque et acide cyanhydrique. Son action est nettement spécifique ; cela résulte, entre autres, du fait que, dans son action sur la benzaldéhyde-cyanhydrine *racémique,* il se forme de la *l*-benzaldéhyde-cyanhydrine par suite du dédoublement de la modification droite.

L'émulsine renferme encore une quatrième enzyme (σ-*d-oxynitrilase*) qui agit inversement à la précédente, et opère la combinaison de l'aldéhyde benzoïque et de l'acide cyanhydrique, avec régénération de la *d*-benzaldéhyde-cyanhydrine.

Ces faits ayant été établis pour l'émulsine des amandes douces, il a paru intéressant d'examiner aux mêmes points de vue d'autres produits végétaux. Cette étude, entreprise par MM. Rosenthaler et Venth, n'est pas encore terminée. Elle s'étendra à toutes les plantes qui fournissent par distillation de l'acide prussique, et dont on peut par conséquent attendre qu'elles renferment des glucosides cyanhydriques. Sans entrer dans le détail des expériences déjà effectuées, on peut en conclure dès à présent que, de toutes les familles végétales étudiées (y compris aussi des cryptogames) et dont, soit les plantes entières, soit les racines, tiges, écorces, fruits et graines ont été examinés, seules les *semences des Rosacées* (Cydonia, Erobotrya, Pirus, Prunus) contiennent à la fois les quatre enzymes mentionnées plus haut.

Dans tous les autres cas, ou celles-ci font complètement défaut, ou elles ne sont représentées que par la δ-*d*-oxynitrilase ou la σ-*d*-oxynitrilase.

Comme autres faits intéressants, il faut noter l'absence d'émulsine dans les feuilles de laurier-cerise et de sureau, et son existence dans Polyporus sulfureus et dans Claviceps purpurea.

D'après ces résultats, les enzymes des plantes qui fournissent de l'acide prussique par distillation apparaissent comme spécifiquement adaptées aux glucosides cyanhydriques que ces plantes renferment.

COMPTE RENDU DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ NEUCHATELOISE DES SCIENCES NATURELLES

Séance du 5 mai 1911

Aug. Dubois. Glaciation du Spitzberg.

M. le prof. Aug. Dubois parle de la *glaciation du Spitzberg*. Ses observations personnelles ainsi que l'étude d'une foule de documents l'ont conduit à ranger les glaciers de cette région dans les glaciers alpins. Des deux facteurs favorables à la glaciation : humidité et froid, c'est ce dernier qui, presque seul, entre en jeu.

Séance du 19 mai

M. Thiébaud. Copépodes cavernicoles. — Spinner. Sur quelques plantes himalayennes. — Jacot-Guillarmod. Clichés stéréoscopiques. — Schardt. Charbon hauterivien.

M. M. Thiébaud, doct. ès sc., résume les découvertes intéressantes faites par le prof. Græter, de Bâle, sur les *Copépodes cavernicoles* du canton de Neuchâtel. Plusieurs espèces présentent des caractères très anciens, ce qui les ferait considérer comme des reliques glaciaires.

M. le prof. Spinner communique le résultat de ses *recherches anatomiques sur quelques plantes himalayennes*. Il s'agit de quelques-unes des espèces rapportées par M. le Dr Jacot-Guillarmod de son voyage de 1905. Ce sont : *Juncus leucanthus, Royle; Carex aterrima, Hoppe; Carex hœmatostoma Nees*, id.; *Forma minor Kükental, Cobresia schœnoïdes Bœck, Poa artica Brown, Deyeuxia pulchella Hook fil., Delphinium glaciale Hook et Thoms., Saxifraga corymbosa Hook et Thoms., Primula capitata Hook, P. sikkimensis Hook fil., Gentiana spec. nov., Leontopodium himalayanum, L. Jacotianum. Beauv., L. Evax Beauv.* L'intérêt de cette étude provient des hautes altitudes, 5350 m. et 6200 m., auxquelles ces plantes ont été cueil-

lies. En général, les résultats concordent bien avec ceux de Bonnier. Toutefois, le *Delphinium glaciale* cueilli en plein désert de glace à plus de 6000 m. semble faire exception; sa structure ne produit rien de spécial; ses fleurs superbes sont très normalement constituées et renferment même des graines non altérées et des grains de pollen prêts à germer.

M. le Dr JACOT-GUILLARMOD complète cette communication par la présentation de clichés stéréoscopiques.

M. le prof. SCHARDT présente un fragment de *charbon hauterivien* provenant de Cressier.

Séance du 2 juin

Piguet. Sur les Oligochètes neuchâtelois. — Fuhrmann. Des Cordillères centrales aux Cordillères orientales.

M. le prof. PIGUET présente le résultat de ses *observations biologiques sur les Oligochètes neuchâtelois.*

L'auteur expose diverses particularités du genre d'existence de nos Oligochètes aquatiques : les uns vivent librement sur les plantes d'eau, la vase, les jetées et les pilotis immergés, tel est le cas, entre autres, des Acolosomatidées, de presque toutes les Naïdidées, des Enchytaéidées et des Lombrididées; d'autres s'abritent dans un tube flexible fait de fins débris agglutinés; ce sont surtout les Tubificitées et, parmi les Naïdidées, les *Dero.* Les Tubicoles enfoncent dans la vase la partie antérieure de leur corps, tandis que la partie postérieure reste saillante et se balance en ondulant; quelques espèces de *Tubifex* et de *Limnodrilus* peuvent se grouper en masse, et on voit alors au fond des eaux, de préférence peu profondes et bien ensoleillées, des taches rouges formées par la réunion de centaines de ces queues en train de se balancer. Les queues des Tubicoles sont très richement vascularisées et sont sans doute le siège principal de la respiration cutanée de ces animaux; leur agitation a pour but de renouveler l'eau qui est en contact avec elles. Nos Oligochètes indigènes n'ont pas d'organes différenciés en branchies, sauf les *Dero*, et la respiration a pour siège toute la surface du corps, et l'intestin, traversé par un courant d'eau.

L'auteur parle ensuite des deux modes de respiration : par formation de chaînes de zooïdes chez les Acolosomatidées et les Naïdidées, et par voie sexuelle chez tous. Il n'y a jamais simultanéité des deux modes; une Naïdidée qui se prépare à pondre, cesse de produire des zooïdes. La reproduction sexuelle est, dans la règle, liée à une saison, variable selon les espèces. Cependant, chez les

Naïdidées, des circonstances défavorables, telles que le froid, le desséchement des mares, peuvent déterminer un développement rapide et hors de saison des organes génitaux. Ce fait a été vérifié expérimentalement chez quelques *Nais* et *Chaetogaster*.

On trouve des Oligochètes dans toutes nos eaux, de la région profonde des lacs de la plaine jusqu'aux lacs de montagne très élevés, de 2500 m. d'altitude, recouverts de glace et de neige pendant une grande partie de l'année. On ne les a pas encore signalés dans les eaux souterraines.

Les ennemis des Oligochètes comprennent une multitude d'animaux aquatiques : des larves d'insectes, un Turbellarié, *Derostomum unipunctatum*, et sans doute d'autres aussi. Ils sont mangés par de nombreux vertébrés. Dans les lacs, ils contiennent fréquemment comme parasites des Cestodes : un *Archigetes* et *Caryophyllaeus mutabilis*, et, dans les eaux stagnantes, un Sporozoaire appartenant au genre *Myxocystis*.

M. le prof. Fuhrmann relate ses souvenirs de voyage *des Cordillères centrales aux Cordillères orientales*,

Séance du 16 juin

J. Leuba. Sur un nouveau Peripatus. — Mayor. De Bogota à la mer.

M. John Leuba communique le résultat de ses travaux sur un nouveau *Peripatus* rapporté de Colombie par M. Fuhrmann.

M. le Dr Mayor termine l'exposé de ses souvenirs de voyage de *Bogota à la mer*.

Assemblée publique annuelle de Landeron le 24 juin

Fuhrmann. Souvenirs de Colombie. — Schardt. Plis-failles de Tête-de-Ran et la Neuveville. — Piguet. Conditions de la vie au fond de nos lacs.

M. le prof. Fuhrmann choisit comme discours présidentiel le récit résumé de ses souvenirs de Colombie.

M. le prof. Schardt parle des plis-failles de Tête-de-Ran et de la Neuveville.

M. le prof. Piguet fait une communication sur les *conditions de la vie au fond de nos lacs*. Il insiste sur le fait que la faune abyssale n'est pas spécifiquement différente de celle de la zone littorale. Il y voit le fait de la jeunesse relative de nos lacs dans lesquels les facteurs du transformisme n'ont pu encore faire sentir leur effet.

BULLETIN SCIENTIFIQUE

MATHÉMATIQUES

ALOYS MÜLLER. DAS PROBLEM DES ABSOLUTEN RAUMES UND SEINE BEZIEHUNG ZUM ALLGEMEINEN RAUMPROBLEM, 1 vol. 154 p., Vieweg und Sohn, Brunswick, 1911.

Intéressante étude consacrée à exposer les points de vue opposés des partisans du mouvement absolu et du mouvement relatif, et à tenter une sorte de conciliation entre les tendances absolutiste et relativiste. L'ouvrage donne une théorie à peu près complète du mouvement absolu, et analyse les formes et relations où ce concept intervient, en prenant comme point de départ le principe de l'inertie et la définition précise, donnée par Lange en 1885, du système absolu relativement auquel le principe est vrai.

Cet ouvrage, par endroits assez abstrait, est à recommander aux physiciens et mathématiciens qui s'intéressent aux fondements logiques et philosophiques de la science. C. C.

MÉTÉOROLOGIE

Dr Julius HANN : HANDBUCH DER KLIMATOLOGIE [1], 3. Auflage, Bd III : Klimatographie, II. Teil Klima der gemässigten Zonen und der Polarzonen, avec 10 figures, 702 p. J. Engelhorn, lib.-édit., Stuttgart, 1911.

Le professeur J. Hann est arrivé au terme de la publication de la 3me édition de son ouvrage devenu classique sur la climatologie. Les deux premiers volumes ont été annoncés ici même.[2] Nous ne voulons pas manquer d'attirer l'attention sur le troisième et dernier qui a subi, depuis la 2me édition, un remaniement et une extension considérables.

La 2me édition du volume correspondant comptait 546 pages, petit format. Le 3me en compte 702 grand format. Le volume a

[1] Cette publication fait partie de la *Bibliothek geographischer Handbücher*, fondée par F. Ratzel et publiée en 2me série par M. le Prof. Dr A. Penck.

[2] *Archives* 1908, XXVI, p. 562, et 1910, XXX, p. 634.

donc à peu près doublé d'importance. C'est que, partout depuis 1897, les documents climatologiques se sont multipliés; et il a fallu la merveilleuse connaissance que l'auteur possède de la « littérature de son sujet » pour lui permettre de mener à bien une pareille revision de ses éditions antérieures.

Déjà dans le premier livre de ce volume consacré aux deux zones tempérées, il y a une augmentation importante de documents. Ce livre compte 587 pages du nouveau format, contre 469 ancien format dans la 2me édition.

Mais c'est le second livre qui traite des zones polaires qui a surtout augmenté : il comptait 76 pages en 2me édition, et il en compte 108 en 3me; et la climatologie de l'Antarctide, qui tenait dans deux pages en 1897, monte à 20 pages dans cette édition-ci. Que serace dans 10 ou 20 ans, quand les résultats des expéditions actuellement en cours seront connus?

Toutes nos félicitations et nos remerciements à l'éminent météorologiste autrichien d'avoir enrichi la littérature scientifique de ce nouvel ouvrage capital, que seul il pouvait écrire.

R. G.

PHYSIQUE

J.-René Benoît et C.-E. Guillaume. Note sur les expériences récentes faites a l'aide des fils géodésiques en invar. *Procès-verbaux des séances du Comité international des Poids et Mesures,* session de 1911, 2e série, t. VI.

La méthode qui consiste à remplacer pour la mesure des bases géographiques les anciennes règles rigides par des fils d'invar, se répand de plus en plus parmi les services géodésiques des diverses nations. A mesure que cet usage s'étend, les mesures de contrôle qui se poursuivent constamment au Bureau international des Poids et Mesures sur la valeur et le degré de précision de cette nouvelle méthode de mesure se multiplient. Au fur et à mesure de leurs campagnes de mensurations, les divers services géodésiques qui emploient les fils d'invar les renvoient au Bureau de Sèvres pour comparaison et là ils sont soumis à un examen serré au point de vue de leur variabilité : variabilité résultant de transformations moléculaires lentes, produisant de légères modifications de volume, variabilité dépendant de la trempe, du travail à froid, des chauffes répétées, etc., variabilité résultant aussi de chocs, de tensions trop fortes, de fausses manœuvres ou d'accidents et MM. Benoît et Guillaume, qui dirigent à Sèvres ce patient travail de contrôle, tirent les conclusions qui ressortent de la comparaison de tous ces fils qui leur

reviennent usagés et nous donnent dans le petit opuscule que nous signalons ici les conclusions générales auxquelles ils arrivent pour la valeur du nouveau procédé. Les essais faits à Sèvres ont porté sur les fils employés aux mensurations du Service géographique de l'Armée française, — du Service géographique de l'Afrique occidentale française, — du Service hydrographique de la Marine française, — de la Commission géodésique suisse, — du Service topographique royal prussien, — de l'Ecole Polytechnique de Stuttgart, — du Cadastre de la ville de Stockholm, — de l'Expédition géodésique dans l'Ouganda, — du Cadastre du Canada, — du Service technique du Ministère des colonies du Canada, — du Ministère des colonies du Portugal.

Il y a donc là une expérience acquise considérable sur laquelle MM. Benoît et Guillaume peuvent baser leur jugement de la nouvelle méthode quand ils disent : « Ces résultats obtenus dans les conditions les plus diverses de personnel, de terrain, de température, de transport, ont confirmé, avec une perfection vraiment inespérée, les valeurs relatives des fils déterminées au Bureau. Ils justifient donc pleinement les conclusions déjà tirées des nombreuses études consacrées à la préparation et à l'emploi des fils d'invar et de plus en plus nettement affirmées à mesure que s'accumulaient nos données. Ils font apparaître ces fils comme susceptibles de fournir des résultats de la plus haute précision, actuellement désirable dans la mesure des bases, à la seule condition que les opérateurs suivent, dans leur maniement, quelques règles très simples que la pratique a enseignées et avec lesquelles des exercices préliminaires les familiariseront en quelques heures ».

E. S.

Gust. Benischke. Die Schutzvorrichtungen der Starkstromtechnik gegen atmosphärische Entladungen und Ueberspannungen. *Elektrotechnik in Einzel-Darstellung,* Heft 1, von 124 S. mit 114 Fig. in Text, Fr. Vieweg u. Sohn, Braunschweig, 1911.

La série de monographies sur l'électro-technique publiée par la maison Vieweg, de Brunswick, sous la direction de M. le Dr Benischke, en est à son quinzième volume. Les sujets les plus divers y sont développés avec la plus grande compétence par MM. Benischke, Michalke, Zeidler, Orlich, Högner, Kyser, Wernicke, Natalis et Rasch.

Nous avons déjà à maintes reprises signalé cette importante collection qui renferme une mine inépuisable de renseignements

et d'enseignements pour tous ceux qui travaillent dans ce champ de plus en plus étendu de l'électro-technique.

L'édition de ces divers fascicules s'enlève rapidement et M. Benischke s'est vu obligé de redonner une seconde édition, revue, augmentée et complètement remise au point, du premier paru, concernant les procédés d'isolement contre les décharges atmosphériques et les supratensions. On a beaucoup erré, exagéré dans ce domaine et l'auteur soumet cette question du danger des supratensions et des moyens d'y parer à une critique serrée, très instructive, dont plus d'un fera son profit.

CHIMIE

Analyse des travaux de chimie faits en Suisse

P. Pfeiffer et S. Sergiewskaja. Sur le p-aminostilbène (*Ber. d. D. Chem. Ges.*, t. 44, p. 1107; Zurich. Laboratoire de Chimie de l'Université).

Les auteurs ont obtenu le *p-nitrostilbène* en chauffant en tube scellé, en bain de paraffine à 150-160°, pendant 4 heures, de l'acide p-nitrophénylacétique, de la benzaldéhyde et une petite quantité de pipéridine ; cette dernière agit comme catalyseur, d'une part pour la condensation et d'autre part pour l'élimination de CO^2 de l'acide caboxylé qui se forme primairement. Le p-nitrostilbène est en jolies aiguilles jaunes, F. à 155°. Son *chlorure* est en aiguilles plates et incolores, F. à 152° ; son *bromure* en aiguilles brillantes et plates, F. à 198°. En réduisant le nitrostilbène par une solution de chlorure d'étain dans l'acide acétique saturé de chlore, on obtient le *p-aminostilbène*, petits cristaux incolores, quelquefois colorés en jaune pâle, F. à 151-152°. Cette base est facilement solube dans l'alcool bouillant, dans le benzène et dans l'acide acétique, elle est insoluble dans l'eau. Son *chlorhydrate* F. à 245-250° ; son *dérivé acétylé* à 225° et son *dérivé benzoylé* à 244-445°.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES A

L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

PENDANT LE MOIS

D'AOUT 1911

Le 1, orage au NNW à 1 h. du soir.
2, orage et pluie à 6 h. du matin ; forte bise à 7 h. du soir.
6, orage et forte averse à 1 h. 50 m. du soir ; éclairs au SE dans la soirée.
7, pluie dans la nuit.
du 8 au 12, forte rosée le matin.
le 12, orage au S et au SE dans la soirée.
du 13 au 16, rosée le matin.
le 13, orage au WNW à 3 h. 25 m. du soir.
les 18 et 19, rosée le matin.
le 20, orage dans la nuit et averse ; tonnerres lointains de 1 h. 30 m. à 3 h. du soir.
21, orage et forte averse à 1 h. 30 m. et de 9 h. 40 m. à 10 h. du matin, pluie à 1 h. ; orage et pluie à 3 h. 45 m. et de 4 h. 10 m. à 6 h. 30 m. et pendant la plus grande partie de la soirée.
22, pluie dans la nuit et jusqu'à 2 h. 30 m. du matin ; orages et pluie de 4 h. 30 m. à 7 h. 20 m. et orage à 9 h. du soir.
23, orage au S à 11 h. 35 m. et averse ; pluie à 7 h. et à 9 h. du soir.
25, rosée le matin.
26, orage et pluie dans la nuit ; rosée le soir.
du 27 au 29, rosée le matin et le soir.
le 30, rosée le matin et orages lointains dans la soirée.
31, violent orage et pluie à 2 h. 30 m. du matin.

GENÈVE — AOUT 1911

Jour du mois	Pression atmosphérique 700mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Barographe Max.	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Vit. moy. kil. h.	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moy. 6 obs.	Durée d'insolation	Pluie Hauteur 24 h.	Nombre d'heures
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm										h.	mm.	
1	27.1	26.5	28.0	26.93	− 0.99	26.2	28.4	NW 0	N. 2	SSW. 0	var	4.2	0	3	0	2	10.2	0.7	1
2	31.2	30.5	31.1	30.34	+ 2.41	29.0	31.2	SSW. 1	N. 1	ENE. 1	NNE. 1	6.3	9	3	6	4	10.2	....	...
3	31 1	29.7	29.7	30.14	+ 2.20	28.7	31.1	NW. 0	N. 1	N. 0	N. 1	5.0	0	3	8	3	13.3	....	....
4	29.3	28.1	28.3	28.65	+ 0.70	27.5	29.6	NW. 0	N. 1	NNW. 1	N. 1	6.4	0	3	6	3	12.6	....	....
5	28.3	26.7	25.5	26.94	− 1.01	25.2	28 3	SW. 1	N. 1	N. 0	N. 1	4.8	0	1	2	1	**13.8**	....	....
6	28.7	28.1	30.2	28.41	+ 0.45	26.1	30.4	NNW. 1	N. 1	N. 1	N. 1	6.9	8	8	4	5	8.4	13.6	1
7	31.6	30.7	30.8	30.73	+ 2 77	29.5	31.6	WNW. 0	N. 2	N. 0	N. 1	5.8	9	2	1	4	10.6	....	....
8	31.8	30.8	30.2	30.93	+ 2.97	29.7	31.9	WNW. 0	N. 1	WNW. 0	N. 1	4.9	0	1	1	1	13.5	....	....
9	31.1	29.2	28.4	29.64	+ 1.67	28.0	31.1	NW. 0	N. 1	NW. 0	N. 1	4.7	0	1	0	1	13.3	....	....
10	28.9	27.3	26.5	27.57	− 0.40	25 7	29.0	SW. 0	NNW. 1	N. 0	N. 1	4.8	0	1	0	0	13.5	....	....
11	26 8	25.5	25.8	26.05	− 1.92	25.0	26.8	WNW. 1	NNW. 1	SW. 1	N. 1	5.6	0	1	0	0	13.6	....	. ..
12	27.1	26.4	27.1	26.55	− 1.42	25.4	27.6	NW. 0	N. 1	ENE. 1	N. 1	5.4	0	0	2	1	11.5	....	....
13	28.8	27.9	28.0	28.06	+ 0.09	27 2	28.9	ESE. 0	NNE. 1	SE. 0	NNE. 1	4.2	2	4	2	3	10 8	....	....
14	28.8	27.4	26.9	27.68	− 0.29	25.9	28.8	SSW. 1	N. 1	NE. 1	N. 1	5.6	3	2	2	4	11.2	....	....
15	26.5	25.1	25.3	25.70	− 2.26	24.5	26.8	W. 0	N. 1	NNE. 1	N. 1	3 8	0	3	0	3	11.5	....	....
16	26.5	26.2	28.0	26.51	− 1.45	25.9	28.2	WSW. 1	N. 1	NNE. 1	N. 1	7.7	0	1	0	0	13.3	....	....
17	29.9	29.4	29.2	29.26	+ 1.31	28.4	30.1	SW. 1	N. 1	N. 1	N. 1	8.6	0	0	0	0	13.4	....	....
18	29.3	27.4	26.1	27.88	− 0.07	25.9	29.8	W. 0	N. 1	N. 0	N. 1	3.6	0	2	0	1	13.4	....	....
19	26.5	24.1	23.3	24.71	− 3.23	22.2	26.6	W. 0	N. 1	W. 0	var.	2.9	0	0	0	0	13.4	1.0	1
20	23.5	22.3	21.1	22.48	− 5.45	20.6	23.6	SW. 1	SSW. 1	N. 2	SSW. 1	6.5	8	4	4	4	7.6	5.3	2
21	21.0	19.9	22.6	21.25	− 6.67	**19.0**	22.8	SSW. 1	ENE. 1	NE. 1	var.	5.8	3	10	10	9	5.0	**25.2**	**8**
22	20.7	20.5	22.2	**21.00**	**− 6.91**	20.0	22.2	N. 1	N. 1	WNW. 1	var.	5.2	10	10	10	9	3 6	13.8	3
23	21.0	23.3	24.8	22.50	− 5.40	20.9	24.9	W. 0	S. 0	SSW. 1	var.	3.2	10	10	10	9	1.5	7.3	3
24	25.6	25.0	26.3	25.37	− 2.52	24.8	26.8	WNW. 1	W. 1	NW. 1	N. 1	3.8	4	4	2	3	12.4	....	....
25	27.4	26.6	28.2	27.25	− 0.63	26.4	28.8	NW. 0	WSW. 1	S. 1	var.	4 0	0	2	3	2	12.9	5.4	2
26	30.9	30.9	31.9	30.63	+ 2.76	28.9	31.9	ESE 1	N. 1	N. 0	N. 1	6.5	5	6	2	4	9.8	....	....
27	32.3	31.8	30.5	**31.57**	**+ 3.72**	30.2	**32.7**	NW. 0	N. 1	WNW. 0	N. 1	3.4	0	0	0	0	13.1	....	....
28	30.8	29.6	29.6	30.06	+ 2.22	28 9	31.0	WNW. 0	SW. 1	SW. 0	var.	3 6	0	0	0	1	12.9	....	....
29	30.8	30.0	29.9	30.08	+ 2.26	29.4	30.8	SW. 0	NNW. 1	WNW. 0	var.	3.2	0	1	0	0	12.9	...	....
30	30 3	29.5	29.5	29.49	+ 1.69	28.2	30.4	W. 0	N. 1	NNW. 0	var.	3.5	0	1	2	1	12.1	6 2	2
31	32.2	31.5	31.1	31.21	+ 3.43	29.2	32.2	NNE. 1	N. 2	NNE 1	N. 2	**16.1**	5	1	0	2	11.8	....	....
Mois	28.25	27.35	27.61	27.60	− 0.06							5.35	2.5	2.8	2.5	2.6	347.1	78.5	23

GENÈVE — AOUT 1911

Jour du mois	Température 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Observ.	Ecart avec la normale	Min.	Max.	Fraction de Saturation en % 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Min.	Max.	Tempér. du Rhône Midi	Ecart avec la normale	Limnimètre
	0	0	0	0	0	0	0								0	0	mm.
1	+20.5	+27.6	+22.5	+22.86	+ 4.09	+16.5	+29.5	73	42	72	65	− 3	40	88	23.1	+ 4.4	1675
2	17.7	26.2	22.3	22.11	+ 3.37	16.4	28.7	90	49	67	67	− 1	40	91	22.2	+ 3.5	1660
3	19.7	26.6	24.5	22.83	+ 4.13	15.5	31.3	77	42	56	61	− 7	35	90	22.8	+ 4.0	1650
4	20.7	27.5	22.9	23.48	+ 4.81	17.4	29.2	69	36	53	53	−15	36	88	23.0	+ 4.2	1685
5	19.1	26.8	22.8	22.04	+ 3.41	15.8	29.5	64	39	66	59	−10	39	82	23.0	+ 4.2	1655
6	23.8	28.9	21.2	22.55	+ 3.96	15.5	29.5	55	38	74	64	− 5	37	90	—	—	1675
7	19.4	25.8	22.5	22.21	+ 3.66	17.5	28.0	89	52	71	70	+ 1	19	90	23.2	+ 4.4	1685
8	20.1	27.0	24.0	22.99	+ 4.49	16.4	29.9	78	43	61	64	− 5	34	91	23.4	+ 4.6	1650
9	21.2	29.0	21.2	**24.11**	+ 5.66	16.8	30.3	71	38	62	61	− 8	28	93	23.6	+ 4.8	1665
10	19.0	28.1	23.9	23.32	+ 4.92	16.4	30.8	69	30	57	56	−13	25	93	23.6	+ 4.8	1650
11	19.3	28.3	22.5	22.44	+ 4.09	14.4	29.6	62	34	48	56	−13	34	88	23.7	+ 4.9	1660
12	19.6	25.5	23.1	22.04	+ 3.75	15.0	28.5	61	41	56	57	−13	36	85	23.7	+ 4.9	1655
13	19.9	25.7	21.7	22.14	+ 3.91	16.2	28.0	73	47	61	64	− 6	39	94	—	—	1645
14	18.3	27.4	22.5	22.05	+ 3.88	15.0	28.8	67	37	52	58	−12	32	93	23.6	+ 4.8	1635
15	18.0	26.6	22.5	21.99	+ 3.89	14.0	29.6	70	35	41	52	−18	30	85	23.9	+ 5.1	1630
16	17.3	24.7	20.4	20.41	+ 2.38	12.8	26.2	67	34	47	**51**	**−19**	32	78	23.6	+ 4.8	1605
17	15.4	23.0	19.8	19.79	+ 1.83	12.4	26.5	67	38	54	52	−18	25	80	23.2	+ 4.4	1630
18	15.1	25.6	20.7	20.11	+ 2.22	**10.8**	31.4	69	32	57	55	−16	14	85	23.1	+ 4.3	1650
19	14.6	26.1	21.3	20.96	+ 3.15	10.9	**33.5**	63	43	55	52	**−19**	**12**	80	22.8	+ 4.0	1655
20	16.4	31.9	21.2	22.49	+ 4.76	15.5	33.2	76	30	70	57	−11	27	82	—	—	1655
21	18.5	23.1	17.3	19.46	+ 1.81	16.0	26.4	84	65	93	82	+11	55	**99**	23.0	+ 4.3	1755
22	17.3	22.5	16.5	18.56	+ 0.99	15.8	24.2	92	71	97	**88**	**+16**	70	**99**	22.3	+ 3.6	1740
23	16.6	20.2	16.9	**17.61**	+ **0.13**	15.0	21.5	95	74	96	87	+15	70	97	22.0	+ 3.4	1645
24	17.1	26.0	19.6	19.68	+ 2.29	14.5	27.5	89	45	74	72	0	40	94	21.2	+ 2.6	1645
25	17.2	27.2	20.5	20.99	+ 3.69	14.9	28.4	83	41	62	67	− 5	38	94	21.8	+ 3.2	1755
26	17.3	21.5	18.0	18.76	+ 1.55	15.7	23.5	85	62	75	73	0	19	93	20.8	+ 2.3	1750
27	15.1	22.2	17.0	18.26	+ 1.15	11.5	24.8	80	54	73	70	− 3	35	94	—	—	1705
28	15.5	28.7	20.3	20.71	+ 3.73	12.5	30.0	81	32	63	63	−10	29	95	21.6	+ 3.1	1700
29	16.8	24.9	21.8	20.73	+ 3.82	14.1	27.2	71	55	75	70	− 3	43	93	22.0	+ 3.6	1700
30	19.2	26.7	22.5	23.10	+ **6.30**	16.0	31.6	82	59	81	71	− 3	28	94	22.0	+ 3.6	1695
31	+16.7	+20.3	+18.0	+18.85	+ 2.15	+11.7	+22.2	75	62	50	70	− 1	53	95	22.2	+ 3.9	1710
Mois	+18.13	+25.85	+21.13	+21.28	+ 3.37	+14.90	+28.36	75	45	65	64	− 7			22.76	+ 1.11	1675

MOYENNES DE GENÈVE. — AOUT 1911

Correction pour réduire la pression atmosphérique de Genève à la pesanteur normale : + 0mm.02. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 700mm +

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re déc.	29.24	29.39	29.89	29.59	28.77	28.17	28.25	28.93	29.03
2e »	27.10	27.05	27.37	27.21	26.17	25.39	25.35	26.25	26.49
3e »	27.08	27.12	27.56	27.70	27.15	26.73	27.34	27.82	27.31
Mois	27.78	27.83	28.25	28.15	27.35	26.76	26.99	27.67	27.60

Température.

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
	°	°	°	°	°	°	°	°	°
1re déc	+18.64	+17.29	+20.09	+24.33	+27.35	+27.56	+25.60	+21.94	+22.85
2e »	17.31	14.55	17.39	22.66	26.45	28.10	24.47	20.61	21.44
3e »	16.55	15.54	17.03	21.36	23.94	24.01	20.89	18.32	19.70
Mois	+17.47	+15.78	+18.13	+22.74	+25.85	+26.47	+23.56	+20.23	+21.28

Fraction de saturation en %.

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
1re décade	79	84	73	52	41	45	54	67	62
2e »	70	79	67	48	37	32	51	58	55
3e »	91	91	84	65	57	54	70	80	74
Mois	80	85	75	55	45	44	59	69	64

Dans ce mois l'air a été calme 204 fois sur 1000.

Le rapport des vents $\frac{\text{NNE}}{\text{SSW}} = \frac{101}{21} = 4.81$

Moyennes des 3 observations (7^h, 1^h, 9^h)

	mm
Pression atmosphérique........	27.74
Nébulosité..................	2.6
Température $\frac{7+1+9}{3}$ ...	+21°.70
Température $\frac{7+1+2\times 9}{4}$ ...	+21°.56
Fraction de saturation........	62 %

Valeurs normales du mois pour les éléments météorologiques, d'après Plantamour :

	mm
Press. atmosphér.. (1836-1875).	27.66
Nébulosité.. ..... (1847-1875).	4.7
Hauteur de pluie.. (1826-1875).	80mm.4
Nombre de jours de pluie. (id.).	10
Température moyenne ... (id.).	+17°.91
Fraction de saturat. (1849-1875).	71 %

Observations météorologiques faites dans le canton de Genève

Résultats des observations pluviométriques

Station	CÉLIGNY	COLLEX	CHAMBÉSY	CHATELAINE	SATIGNY	ATHENAZ	COMPESIÈRES
Hauteur d'eau en mm.	82.8	73.7	82.8	80.8	71.4	79.6	68.6

Station	VEYRIER	OBSERVATOIRE	COLOGNY	PUPLINGE	JUSSY	HERMANCE
Hauteur d'eau en mm.	88.1	78.5	89.8	72.4	88.3	64.3

Insolation à Jussy : 315 h. 7.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AU

GRAND SAINT-BERNARD

PENDANT LE MOIS

D'AOUT 1911

Le 7, pluie.
8, pluie et fort vent.
les 14, 15, 16 et 17, forte bise.
le 20, fort vent.
les 21, 22 et 23, pluie et fort vent.
le 26, pluie.
28, fort vent.
31, pluie.

GRAND SAINT-BERNARD — AOUT 1911

Jour du mois	Pression atmosphérique 500mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Barographe Max.	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Pluie Hauteur (24 h.)	Neige Hauteur (24 h.)
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.									mm.	cm.
1	70.2	70.7	72.2	71.0	+ 2.1	70.0	72.7	NE. 2	NE. 1	NE. 1	NE. 1	1	6	0	2	....	....
2	72.9	73.2	73.8	73.3	+ 4.4	72.8	73.8	NE. 2	NE. 2	NE. 2	NE. 2	7	5	10	7	...	....
3	73.0	72.4	72.8	72.7	+ 3.8	72.4	73.7	NE. 1	NE. 1	NE. 2	NE. 1	0	3	8	4	....	...
4	71.1	71.1	71.2	71.1	+ 2.2	71.0	72.4	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	10	9	2	7	....	...
5	70.6	70.8	71.6	71.0	+ 2.1	70.5	71.9	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	0	2	0	1	...	....
6	72.0	72.5	73.0	72.5	+ 3.6	71.9	73.1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	6	8	10	8	3.9	....
7	73.3	73.4	74.8	73.8	+ 4.9	73.2	74.8	NE. 1	NE. 1	NE. 2	NE. 1	10	7	10	9	0.9	....
8	74.4	75.0	75.0	**74.8**	**+ 5.9**	74.3	**75.0**	SW. 2	SW. 3	SW. 1	SW. 2	3	6	0	3	...	....
9	74.3	73.7	73.2	73.7	+ 4.8	72.8	74.7	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	0	3	0	1	....	....
10	71.7	71.6	71.8	71.7	+ 2.8	71.5	72.6	NE. 2	NE. 2	NE. 1	NE. 2	0	2	0	1	....	....
11	70.3	71.0	70.2	70.5	+ 1.6	70.1	71.4	NE 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	0	3	1	1	....	....
12	70.0	70.3	71.2	70.5	+ 1.7	70.0	71.3	NE. 1	NE 1	NE. 1	NE. 1	1	2	0	1	...	....
13	70.9	71.1	71.7	71.2	+ 2.4	70.8	71.7	NE. 1	NE. 1	NE. 2	NE. 1	5	7	0	4	....	....
14	71.1	71.1	70.3	70.8	+ 2.0	70.0	71.5	NE. 1	NE. 3	NE. 2	NE. 2	4	4	0	3	....	....
15	69.0	68.8	68.2	68.7	− 0.1	67.8	70.0	NE. 1	NE. 1	NE. 4	NE. 2	0	7	0	2	...	....
16	67.2	67.5	69.1	67.9	− 0.9	67.1	69.2	NE. 1	NE. 3	NE. 3	NE. 2	0	4	5	3	....	...
17	69.2	70.2	71.4	70.3	+ 1.6	69.2	71.5	NE. 2	NE. 4	NE. 1	NE. 2	0	0	0	0	....	....
18	70.8	70.5	70.3	70.5	+ 1.8	70.5	71.3	NE. 1	NE. 1	SW. 1	NE. 1	0	6	0	2	...	....
19	68.9	68.6	69.1	68.9	+ 0.2	68.5	70.0	NE. 1	NE. 1	NE. 2	NE. 1	0	0	0	0	....	....
20	68.5	69.0	68.2	68.6	− 0.1	68.0	69.0	SW. 1	NE. 1	SW. 3	SW. 2	7	6	10	8	4.6	...
21	67.1	67.6	66.7	67.1	− 1.5	66.5	68.0	SW 2	SW. 2	SW. 2	SW. 2	10	10	10	10	8.1	....
22	66.0	65.7	66.2	**66.0**	**− 2.6**	**65.6**	66.5	SW. 4	SW. 4	SW. 2	SW. 3	10	10	10	10	....	....
23	65.8	66.1	66.9	66.3	− 2.3	65.7	67.0	SW. 2	SW. 4	SW. 3	SW. 3	10	10	10	10	**15.0**	....
24	67.1	67.1	68.3	67.5	− 1.0	67.0	68.4	SW. 1	NE. 1	NE. 2	NE. 1	6	8	10	8	....	....
25	68.5	69.7	70.8	69.7	+ 1.2	68.5	70.9	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	6	8	10	8	....	....
26	70.3	70.7	71.8	70.9	+ 2.5	70.2	71.9	NE. 1	NE. 2	NE. 2	NE. 2	10	8	0	6	4.5	....
27	72.1	73.3	72.8	72.7	+ 4.3	72.0	73.3	NE. 1	NE. 1	SW. 2	NE. 1	0	0	0	0	....	....
28	72.8	73.1	73.3	73.1	+ 4.8	72.7	73.4	SW. 3	SW. 2	NE. 1	SW. 2	0	4	0	1	..	...
29	73.6	73.8	74.1	73.8	+ 5.5	73.5	74.2	NE. 1	NE. 2	NE. 2	NE. 2	0	1	0	0	....	....
30	73.6	73.6	73.2	73.5	+ 5.3	73.0	73.9	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	0	6	0	2	5.5	....
31	71.4	71.6	72.3	71.8	+ 3.6	71.4	73.1	NE. 1	NE 1	NE. 1	NE 1	10	4	1	5	....	....
Mois	70.57	70.80	71.15	70.84	+ 2.44							3.7	5.1	3.5	4.1	42.5	....

GRAND SAINT-BERNARD — AOUT 1911

Jour du mois	Température 7 heures	Température 1 heure	Température 9 heures	Température Moyenne 3 Observ.	Température Ecart avec la normale	Température Minimum	Température Maximum	Fraction de saturation en % 7 h.	Fraction de saturation en % 1 h.	Fraction de saturation en % 9 h.	Fraction de saturation en % Moyenne 3 Obs.	Fraction de saturation en % Min.	Fraction de saturation en % Max.
	°	°	°	°	°	°	°						
1	+ 9.6	+ 15.8	+ 10.3	+ 11.9	+ 5.5	+ 8.9	+ 16.2	81	48	80	71	39	85
2	10.5	14.0	8.8	11.1	+ 4.7	8.6	15.1	71	59	96	75	43	98
3	8.1	13.6	9.8	10.5	+ 4.1	8.0	14.8	74	37	85	65	33	92
4	8.0	13.2	8.1	9.8	+ 3.4	7.6	13.9	96	81	86	88	50	97
5	7.0	15.7	12.0	11.6	+ 5.2	6.5	16.2	91	32	39	54	24	93
6	10.8	16.0	9.8	12.2	+ 5.8	9.2	16.8	57	45	90	64	36	95
7	9.1	9.7	9.2	9.3	+ 3.0	8.8	10.4	74	57	83	71	51	88
8	8.6	11.2	11.0	10.3	+ 4.0	8.2	14.0	73	67	76	72	43	78
9	10.1	16.1	11.8	**12.7**	+ 6.4	10.0	**17.8**	76	51	58	62	40	78
10	10.0	11.2	15.2	12.1	+ 5.8	9.8	16.4	66	72	34	57	32	76
11	9.9	15.6	10.9	12.1	+ 5.9	9.2	16.9	54	35	61	50	31	85
12	9.1	15.0	10.0	11.4	+ 5.2	7.0	16.1	57	37	59	51	33	86
13	8.2	14.9	9.6	10.9	+ 1.7	8.0	15.6	71	37	64	57	32	71
14	8.6	14.2	8.8	10.3	+ 4.1	7.6	15.2	80	38	70	63	29	82
15	6.6	11.0	7.6	8.4	+ 2.3	6.6	12.1	72	45	73	63	38	76
16	5.2	11.9	5.4	7.5	+ 1.4	5.0	12.7	72	57	95	75	47	98
17	4.1	12.1	8.2	8.1	+ 2.1	4.0	13.8	71	27	45	48	**13**	86
18	9.2	15.0	9.4	11.2	+ 5.2	7.8	15.8	22	36	45	**34**	15	50
19	9.0	16.0	11.8	12.3	+ 6.3	8.8	17.1	38	28	35	**34**	18	46
20	10.0	16.0	9.8	11.9	+ 6.0	9.6	16.8	60	65	89	71	43	91
21	7.9	9.8	8.6	8.8	+ 3.0	7.6	10.2	94	94	95	**94**	87	98
22	7.9	9.0	9.0	8.6	+ 2.8	7.7	10.3	95	95	88	93	79	97
23	8.0	6.9	7.2	7.4	+ 1.7	6.5	8.8	90	81	75	82	66	95
24	5.8	5.8	9.1	6.9	+ 1.2	4.9	10.1	65	65	75	68	57	87
25	5.0	10.2	7.8	7.7	+ 2.1	4.8	11.3	86	60	91	79	54	96
26	3.4	5.8	3.4	**4.2**	− **1.3**	**3.4**	7.6	99	81	90	90	76	100
27	3.9	12.0	8.8	8.2	+ 2.7	3.7	12.9	66	43	72	60	32	87
28	7.0	12.1	10.2	9.8	+ 4.4	6.6	14.4	79	71	81	77	63	89
29	8.0	15.1	10.9	11.3	+ 6.0	7.8	15.4	75	38	75	63	30	83
30	9.5	15.8	10.6	12.0	+ **6.8**	9.1	16.4	68	42	71	60	35	89
31	+ 6.8	+ 10.8	+ 9.2	+ 8.9	+ 3.7	+ 6.7	+ 11.7	97	74	59	77	43	99
Mois	+ 7.88	+ 12.63	+ 9.43	+ 9.98	+ 1.0	+ 7.68	+ 13.99	73	55	72	67		

MOYENNES DU GRAND SAINT-BERNARD. — AOUT 1911

Correction pour réduire la pression atmosphérique du Grand Saint-Bernard à la pesanteur normale : — $0^{mm}.22$. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 500mm + — **Fraction de saturation en %**

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
	mm	mm	mm	mm				
1re décade	72.35	72.44	72.94	72.57	76	55	73	68
2e »	69.59	69.81	69.97	69.79	60	40	64	55
3e »	69.85	70.21	70.58	70.21	83	68	79	77
Mois	70.57	70.80	71.15	70.84	73	55	72	67

Température.

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne. $\frac{7+1+9}{3}$	Moyenne. $\frac{7+1+2\times 9}{4}$
	°	°	°	°	°
1re décade	+ 9.18	+ 13.65	+ 10.60	+ 11.14	+ 11.01
2e »	7.93	14.17	9.15	10 42	10.10
3e »	6.65	10.30	8.62	8.52	8.55
Mois	+ 7.88	+ 12.63	+ 9.43	+ 9.98	+ 9.84

Dans ce mois l'air a été calme 0 fois sur 1000.

Le rapport des vents $\frac{NE}{SW} = \frac{103}{45} = 2.29$

Pluie et neige dans le Val d'Entremont.

Station	Martigny-Ville	Orsières	Bourg-St-Pierre	St-Bernard
Eau en millimètres.....	36.0	34.4	44.6	42.5
Neige en centimètres....	—	—	—	—

Erratum : Pluie dans le Val d'Entremont en **juillet :**
Pluie à Orsières $16^{mm}0$.

SUR LES TRAJECTOIRES

DES CORPUSCULES ÉLECTRISÉS DANS L'ESPACE

sous l'action du magnétisme terrestre

avec application aux aurores boréales, etc.

(Second mémoire [1])

PAR

Carl STÖRMER

(Suite [2])

SECONDE PARTIE

L'ACTION DES COURANTS CORPUSCULAIRES EXTÉRIEURS SUR LE RAYON DE LA ZONE DE FRÉQUENCE MAXIMUM DES AURORES BORÉALES.

6. *Remarques sur le phénomène en question*

D'après le résultat négatif de la première partie, il semble inopportun d'abandonner l'hypothèse bien simple d'après laquelle le champ magnétique de la terre peut être assimilé au champ d'un aimant élémentaire, comme je l'ai fait dans mon premier mémoire inséré aux *Archives*.

Cependant, pour expliquer la situation de la zone d'aurore, j'avais été conduit à considérer l'action d'un *champ magnétique extérieur*, dû à des courants de corpuscules dans l'espace cosmique autour de la terre.

L'existence d'un tel champ extérieur a déjà depuis longtemps été reconnue par l'étude des orages magnétiques et tout

[1] Pour le premier mémoire, voir *Arch. des Sc. phys. et nat.*, Genève, 1907, t. XXIV, p. 5, 113, 221, 317.
[2] Voir *Archives,* août 1911, p. 177, septembre, p. 190.

dernièrement, les recherches importantes de mon collègue M. Birkeland ont rendu très vraisemblable l'hypothèse d'après laquelle les orages magnétiques sont dûs à des courants immenses de corpuscules dont l'action magnétique équivaut à des courants galvaniques de millions d'ampères.

Mais, une fois l'existence de tels courants de corpuscules admise, le champ magnétique très loin de la terre sera complètement différent de celui d'un aimant élémentaire, ainsi que de celui correspondant à l'hypothèse de Gauss.

On a ici un terrain immense pour des recherches nouvelles, d'une difficulté cependant beaucoup plus grande qu'auparavant, c'est-à-dire dans l'hypothèse d'un champ d'aimant élémentaire.

Contre l'objection consistant à dire que les recherches sur le magnétisme terrestre ont prouvé que quelques % au plus de la force magnétique existant sur la surface terrestre peuvent être dus à des courants extérieurs, on peut faire la remarque suivante : il peut bien arriver que le champ magnétique puisse à une grande distance de la terre être complètement déformé par des courants de corpuscules, sans que l'on puisse le constater par observation directe. En effet, à cause de la distance, l'action peut-être tout à fait minime, comparée avec celle du magnétisme terrestre intérieur ; nous en verrons des exemples dans ce qui va suivre.

Une fois le champ extérieur déformé, les trajectoires des corpuscules qui arrivent dans ce champ se déformeront à leur tour; il en résulte une nouvelle déformation du champ causée par l'action électromagnétique de ces derniers corpuscules et ainsi de suite. Au surplus, on aura des changements dans l'état électromagnétique de la terre, changements qui, à leur tour, déformeront davantage encore le champ magnétique extérieur et ainsi de suite.

On est donc conduit au problème général suivant, dont la solution excède probablement les ressources actuelles de l'analyse :

Supposons des masses magnétiques ou magnétisables, par exemple des corps célestes, se mouvant d'une manière donnée dans l'espace.

Supposons en même temps que l'espace soit parcouru par des courants de corpuscules électrisés et que, à un moment donné, les mouvements de ces corpuscules soient connus. D'après la théorie électromagnétique de Maxwell il y aura des actions électromagnétiques mutuelles entre les corpuscules eux-mêmes et entre eux et les corps célestes. Donc à chaque moment les trajectoires des corpuscules et leurs vitesses changeraient et aussi le champ électromagnétique dans l'espace.

Cela posé, comment le phénomène se développera-t-il avec le temps ? Ce sont précisément les réflexions pareilles qui ont conduit M. Birkeland à une théorie nouvelle sur l'origine du magnétisme terrestre[1]. Rien que la mise en équations du problème me semble bien difficile.

A cause de la vitesse de propagation *finie* de l'action électromagnétique, on sera probablement conduit non à des équations différentielles mais à *des équations intégrales*[2], où les inconnues figureront aussi sous des signes d'intégration comme dans les équations de M. *Fredholm.*

Je ne puis songer à aborder ici ce problème général. Je me bornerai à traiter un cas très particulier, pour faire voir que l'hypothèse d'un champ magnétique modifié par des courants de corpuscules semble pouvoir contribuer à l'explication de la situation véritable de la zone d'aurore, même en admettant que les corpuscules formant les aurores dans cette zone ne soient pas moins déviables que les rayons cathodiques et les rayons β du radium.

7. *Champ magnétique extérieur à la terre modifié par des courants circulaires dans le plan magnétique équatorial*

L'un des phénomènes les plus saillants dans les expériences de M. Birkeland avec un globe magnétique dans un courant de rayons cathodiques est celui *d'un anneau dans le plan magnétique équatorial du globe.*

[1] Voir *Videnskabsselskabets forhandlinger* 1907, séance du 25 janvier, Christiania.

[2] Comparer la fin du mémoire de M. Emile Picard : La mécanique classique et ses approximations successives. *Rivista di Scienza,* Bologna. 1907.

La théorie a conduit aussi à un pareil anneau : il est constitué par des trajectoires situées aux environs d'une trajectoire circulaire concentrique à l'équateur magnétique du globe et de rayon égal à $\sqrt{\frac{M}{H_0\rho_0}}$ centimètres ; ici M est le moment magnétique du globe et $H_0\rho_0$ est le produit caractéristique pour les corpuscules dont le courant est supposé formé.

Supposons comme cas simple que la terre soit entourée d'un pareil courant ou de plusieurs pareils courants circulaires, situés dans l'espace cosmique et dans le plan magnétique équatorial de la terre. Supposons de plus que l'action magnétique d'un tel anneau soit équivalente à celle d'un courant galvanique de sens opposé au mouvement des corpuscules, si ceux-là sont chargés négativement et de même sens si ils sont chargés positivement. Alors la direction du courant sera dans tous les cas de l'est à l'ouest en passant par le sud.

Conservons d'ailleurs, relativement au magnétisme terrestre dû à des causes intérieures, l'hypothèse de l'aimant élémentaire.

On aura donc à étudier le mouvement d'un corpuscule électrisé dans un champ magnétique consistant en :

1° un aimant élémentaire ;

2° une série d'anneaux galvaniques circulaires situés dans le plan magnétique équatorial de l'aimant élémentaire et ayant leur centre en commun avec celui-ci.

Comme le champ magnétique ainsi défini est un champ de rotation, on se trouve dans un des cas de réduction signalé dans ma note des *Comptes rendus* du 2 mars 1908.

On peut en particulier trouver des parties d'espace *dont chaque trajectoire ne peut sortir*, ce qui s'est montré si utile dans le cas où le champ était dû seulement à un aimant élémentaire.

Dans ce qui suit, nous traiterons d'abord le cas d'un champ de rotation et ensuite le cas cité plus haut. On verra enfin, dans les applications, comment de pareils anneaux tirent la zône théorique d'aurore boréale *vers le sud* à mesure que l'intensité des courants va en augmentant.

8. *Equations de la trajectoire d'un corpuscule électrisé dans un champ de rotation et conséquences qu'on peut en tirer*

Supposons que la charge du corpuscule soit *négative* et soit $V(x,y,z)$ le potentiel en un point du champ magnétique, rapporté à un système de coordonnées cartésiennes (voir fig. 6).

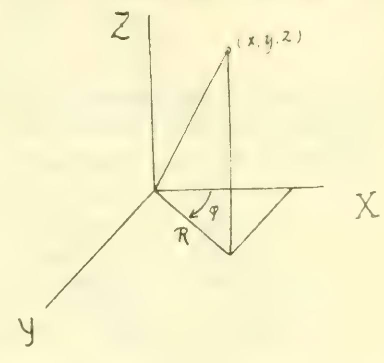


Fig. 6

Supposons que le potentiel satisfasse à l'équation de Laplace :

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = o$$

Les équations différentielles de la trajectoire seront (voir les équations III, où $P_x = \frac{\partial V}{\partial x}$, $P_y = \frac{\partial V}{\partial y}$ et $P_z = \frac{\partial V}{\partial z}$) :

$$\left.\begin{aligned} H_0\rho_0 \frac{d^2x}{ds^2} &= \frac{\partial V}{\partial z}\frac{dy}{ds} - \frac{\partial V}{\partial y}\frac{dz}{ds} \\ H_0\rho_0 \frac{d^2y}{ds^2} &= \frac{\partial V}{\partial x}\frac{dy}{ds} - \frac{\partial V}{\partial z}\frac{dx}{ds} \\ H_0\rho_0 \frac{d^2z}{ds^2} &= \frac{\partial V}{\partial y}\frac{dx}{ds} - \frac{\partial V}{\partial x}\frac{dy}{ds} \end{aligned}\right\} \qquad (V)$$

l'arc s étant compté positif dans la direction du mouvement.

Cela posé, *supposons que le potentiel reste géométriquement inaltéré par une rotation quelconque autour d'un axe.*

En choisissant cet axe comme axe des z et en posant

$$x = R\cos\varphi, \quad y = R\sin\varphi$$

la fonction V ne doit pas contenir la variable φ : *donc elle sera fonction de* R *et de* z *seuls*. Le cas où V ne contient pas R peut être écarté ; en effet l'équation de Laplace se réduit alors à

$$\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = o$$

c'est-à-dire

$$V = az + b$$

a et b étant des constantes, ce qui correspond au cas banal d'un champ constant.

On peut donc supposer que $\frac{\partial U}{\partial R}$ ne soit pas identiquement nul.

L'équation de Laplace se réduira alors à

$$R\left(\frac{\partial^2 V}{\partial R^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}\right) + \frac{\partial V}{\partial R} = o$$

Cela posé, transformons les équations différentielles de la trajectoire en les variables R, z et φ. Comme dans mon mémoire de 1907, on trouve alors sans difficulté le système[1] :

$$\left.\begin{aligned} H_o\varrho_o \left[\frac{d^2R}{ds^2} - R\left(\frac{d\varphi}{ds}\right)^2\right] &= R\frac{\partial V}{\partial z}\frac{d\varphi}{ds} \\ H_o\varrho_o \frac{d^2z}{ds^2} &= - R\frac{\partial V}{\partial R}\frac{d\varphi}{ds} \\ H_o\varrho_o \frac{d}{ds}\left[R^2\frac{d\varphi}{ds}\right] &= - R\frac{\partial V}{\partial z}\frac{dR}{ds} + R\frac{\partial V}{\partial R}\frac{dz}{ds} \end{aligned}\right\} \quad \text{VI}$$

Enfin, comme l'arc est variable indépendante on a

$$\left(\frac{dR}{ds}\right)^2 + \left(\frac{dz}{ds}\right)^2 + R^2\left(\frac{d\varphi}{ds}\right)^2 = 1$$

Mais il est facile de voir que le second membre de la troisième équation

$$- R\frac{\partial V}{\partial z}\frac{dR}{ds} + R\frac{\partial V}{\partial R}\frac{dz}{ds}$$

est la dérivée d'une fonction Φ de R et de z, facile à trouver ; en effet, la condition pour que

$$- R\frac{\partial V}{\partial z} = \frac{\partial \Phi}{\partial R}$$
$$R\frac{\partial V}{\partial R} = \frac{\partial \Phi}{\partial z}$$

à savoir :

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(- R\frac{\partial V}{\partial z}\right) = \frac{\partial}{\partial R}\left(R\frac{\partial V}{\partial R}\right)$$

se réduit à

$$R\left(\frac{\partial^2 V}{\partial R^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}\right) + \frac{\partial V}{\partial R} = o$$

ce qui n'est pas autre chose que l'équation de Laplace citée plus haut. Donc la fonction Φ existe et peut être trouvée par intégration d'une différentielle totale.

[1] C'est aussi un cas spécial de mes équations dans la note des *Comptes rendus* du 9 mars 1908.

Cela donne

$$H_0 \varrho_0 \frac{d}{ds}\left[R^2 \frac{d\varphi}{ds}\right] = \frac{\partial \Phi}{ds}$$

d'où, en intégrant

$$H_0 \varrho_0 R^2 \frac{d\varphi}{ds} = \Phi + C \qquad \text{VII}$$

où C est une constante d'intégration.

Comme dans mon mémoire cité plus haut, cette équation peut être interprétée géométriquement d'une manière très simple. En effet on a

$$R \frac{d\varphi}{ds} = \sin \theta$$

où θ est l'angle entre la tangente et le plan passant par l'axe de z et le point considéré sur la trajectoire.

On a donc

$$\sin \theta = \frac{\Phi + C}{H_0 \varrho_0 R}$$

Fig. 7

On en tire les mêmes conclusions que dans mon mémoire; nous y reviendrons plus tard.

En substituant la valeur de $\frac{d\varphi}{ds}$ dans les deux premières équations VI, on aura comme dans mon mémoire le système

$$\left.\begin{aligned} \frac{d^2R}{ds^2} &= \frac{1}{2}\frac{\partial Q}{\partial R} \\ \frac{d^2z}{ds^2} &= \frac{1}{2}\frac{\partial Q}{\partial z} \end{aligned}\right\} \qquad \text{VIII}$$

avec

$$\left(\frac{dR}{ds}\right)^2 + \left(\frac{dz}{ds}\right)^2 = Q$$

où Q est défini par la formule

$$Q = 1 - \left[\frac{\Phi + C}{H_0 \varrho_0 R}\right]^2$$

On peut en tirer exactement les mêmes avantages que je l'ai

fait dans mon mémoire en question pour le cas spécial où le champ magnétique est dû à un aimant élémentaire.

Ce qui nous intéresse surtout ici, c'est de trouver les parties d'espace, dont toutes les trajectoires correspondantes à la même valeur de C ne peuvent sortir. On les trouve en remarquant que

$$-1 \leqq \sin \theta \leqq 1$$

d'où

$$-1 \leqq \frac{\Phi + C}{H_0 \varrho_0 R} \leqq 1$$

et l'ensemble des points où R et z satisfont à cette condition, constitue les parties d'espace en question.

Pour les étudier en détail, nous étudierons les courbes

$$\frac{\Phi + C}{H_0 \varrho_0 R} = k$$

où R et z sont les coordonnées cartésiennes et où k est une constante à laquelle on peut donner toutes les valeurs entre —1 et +1. Ces courbes sont précisément les courbes méridiennes des surfaces sur lesquelles $\sin \theta$ a la valeur k et les parties parcourues par les courbes quand k varie dans l'intervalle ci-dessus forment les sections des parties d'espace indiquées par un plan passant par l'axe des z exactement comme dans le cas d'un aimant élémentaire.

Avant d'appliquer ceci à notre problème spécial, nous allons étudier un peu la fonction Φ et voir comment on peut facilement construire les parties d'espace dont il est question ici.

9. *Propriétés de la fonction Φ. Procédé pratique pour construire les parties d'espace dont les trajectoires ne peuvent sortir*

La fonction de R et de z que nous avons appelée Φ était définie par les deux équations compatibles

$$\frac{\partial \Phi}{\partial R} = -R \frac{\partial V}{\partial z}$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = R \frac{\partial V}{\partial R}$$

En formant $\frac{\partial^2 V}{\partial R \partial z}$ pour chacune de ces équations et en identifiant les résultats, on voit que Φ satisfait à l'équation

$$R\left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial R^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2}\right) - \frac{\partial \Phi}{\partial R} = o$$

Donc Φ vérifie la même équation que la fonction dite « Stokes current function » dans l'hydrodynamique.

Les surfaces

$$\Phi = \text{constante}$$

et les surfaces équipotentielles

$$V = \text{constante}$$

se coupent à angle droit ; en effet, en interprétant R et z comme des cordonnées cartésiennes dans un plan méridien passant par l'axe des z, les courbes $\Phi = const.$ et $V = const.$ se coupent à angle droit à cause de la relation

$$\frac{\partial V}{\partial R}\frac{\partial \Phi}{\partial R} + \frac{\partial V}{\partial z}\frac{\partial \Phi}{\partial z} = o$$

qu'on déduit des équations définissant Φ. *Donc les courbes $\Phi = const.$ dans ce plan méridien sont des lignes de force du champ magnétique.* On en tire une *construction facile* des courbes

$$\frac{\Phi + C}{H_0 \rho_0 R} = k$$

($C, H_0 \rho_0$ et k des constantes), quand on a déjà construit un réseau assez dense de ligne de force. En effet, le point d'intersection (R_0, z_0) entre la ligne de force

$$\Phi = a$$

et la ligne droite

$$R = \frac{a + C}{H_0 \rho_0 k}$$

est situé aussi sur la courbe

$$\frac{\Phi + C}{H_0 \rho_0 R} = k$$

ce qu'on voit en éliminant a. On marque ainsi sur chaque ligne de force $\Phi = a$ les points d'intersection avec la ligne droite correspondante et on tire ensuite par ces points la courbe cherchée.

Enfin, en donnant à k une série de valeurs entre —1 et —1

ces valeurs y comprises, on arrive à obtenir la section de la partie d'espace cherchée par le plan méridien.

Pour avoir encore d'autres avantages dans les constructions, on peut appliquer quelques propriétés simples de la fonction Φ.

En effet, *considérons un champ magnétique avec potentiel* V_1, *défini par la relation :*

$$V_1 = \frac{\partial^n V}{\partial z^n}$$

et appelons Φ_1 *la fonction correspondante. On aura alors*

$$\Phi_1 = \frac{\partial^n \Phi}{\partial z^n}$$

En effet, en dérivant n fois les équations

$$\frac{\partial \Phi}{\partial R} = - R\frac{\partial V}{\partial z}, \qquad \frac{\partial V}{\partial z} = R\frac{\partial V}{\partial R}$$

partiellement par rapport à z, on trouve (pourvu que les fonctions V et Φ admettant des dérivées partielles de tous les ordres) que

$$\frac{\partial \Phi_1}{\partial R} = - R\frac{\partial V_1}{\partial z}, \qquad \frac{\partial \Phi_1}{\partial z} = R\frac{\partial V_1}{\partial z}$$

Comme exemple, partons du cas où

$$V = -\frac{1}{r}$$

Dans ce cas on aura

$$\Phi = \frac{z}{r}$$

On en tire immédiatement que si

$$V = \frac{z}{r^3}$$

ce qui correspond au cas d'un aiment élémentaire, on aura

$$\Phi = \frac{R^2}{r^3}$$

Une autre propriété est la suivante :

Si le champ magnétique de potentiel V *est formé par la superposition des deux autres champs de potentiels* c_1V_1 *et* c_2V_2 *où* c_1 *et* c_2 *sont des constantes, c'est-à-dire si*

$$V = c_1V_1 + c_2V_2$$

on aura aussi

$$\Phi = c_1\Phi_1 + c_2\Phi_2$$

où Φ_1 et Φ_2 sont les deux fonctions correspondant à V_1 et à V_2.

En effet, des équations

$$\frac{\partial \Phi_1}{\partial R} = - R\frac{\partial V_1}{\partial z}, \qquad \frac{\partial \Phi_1}{\partial z} = R\frac{\partial V_1}{\partial R}$$

$$\frac{\partial \Phi_2}{\partial R} = - R\frac{\partial V_2}{\partial z}, \qquad \frac{\partial \Phi_2}{\partial z} = R\frac{\partial V_2}{\partial R}$$

on tire immédiatement

$$\frac{\partial \Phi}{\partial R} = - R\frac{\partial V}{\partial z}, \qquad \frac{\partial \Phi}{\partial z} = R\frac{\partial V}{\partial R}, \text{ c. q. f. q.}$$

Comme conséquence immédiate, on aura que si

$$V_1 = \int_{\lambda_0}^{\lambda_1} V(R, z, \lambda) d\lambda$$

où le potentiel $V(R, z, \lambda)$ contient un paramètre λ, indépendant de R et de z, alors

$$\Phi_1 = \int_{\lambda_0}^{\lambda_1} \Phi(R, z, \lambda) d\lambda$$

où $\Phi(R, z, \lambda)$ est la fonction qui correspond au potentiel $V(R, z, \lambda)$.

De même, si

$$V_1 = \iint_\sigma V(R, z, \lambda, \mu) d\lambda d\mu$$

on aura

$$\Phi_1 = \iint_\sigma \Phi(R, z, \lambda, \mu) d\lambda d\mu$$

où les intégrales doubles sont étendues au même champ d'intégration dans le plan des deux paramètres λ et μ, et ainsi de suite.

Quant à la construction graphique des courbes

$$\frac{\Phi + C}{H. \rho. R} = k$$

dans le cas où Φ est composé d'autres fonctions de la manière indiquée plus haut, on tirera un très grand avantage des méthodes connues d'addition et soustraction graphique. Nous en verrons des exemples dans ce qui suit.

10. *Cas d'un courant galvanique circulaire* [1].

Considérons maintenant le cas d'un courant circulaire. Prenons l'axe du courant comme axe des z et son plan comme plan des xy. Supposons que le courant ait le sens des φ croissants (voir fig. 8) et qu'il équivaut à i ampères.

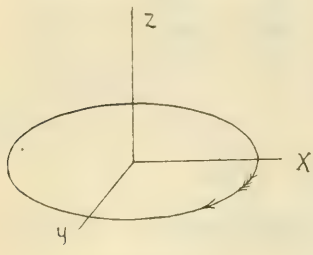


Fig. 8

Ici le potentiel magnétique dû au courant est fonction de R et de z seuls. Appelons H_R la composante de la force magnétique qui est normale à l'axe des z; on a, avec les notations précédentes :

$$H_R = \sqrt{H_x^2 + H_y^2} = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{x^2}{R^2} + \frac{y^2}{R^2}\right)\left(\frac{\partial V}{\partial R}\right)^2}$$

Donc

$$H_R = \frac{\partial V}{\partial R}$$

Comme $\frac{\partial V}{\partial z} = H_Z$ les équations définissant la fonction Φ prennent la forme

$$\frac{\partial \Phi}{\partial R} = -RH_z, \qquad \frac{\partial \Phi}{\partial z} = RH_R$$

Il faut donc calculer H_R et H_Z, ce que nous ferons en appliquant la loi d'*Ampère*.

On peut d'abord calculer H_R et H_Z, pour $y = o$; à cause de la symétrie on n'aura ensuite qu'à substituer R à x dans les résultats, pour obtenir H_R et H_Z en général.

Fig. 9

Soit une masse magnétique nord égale à l'unité, placée au point (x, o, z) et soit dl un élément du courant, avec coordon-

[1] Nous avons préféré donner ici une déduction de la formule pour la fonction Φ, malgré que cette déduction ne soit pas nouvelle.

nées (ξ,η,o); soit ensuite r_1 la distance entre les points (x,o,z) et (ξ,η,o) et soit ω l'angle entre la direction du courant de l'élément et la direction allant du point (x,o,z) au point (ξ,η,o). Comme on le sait, l'action de l'élément dl sur la masse magnétique au point (x,o,z) sera en grandeur

$$\frac{1}{10}\, i\, \frac{dl}{r_1^{\,2}} \sin \omega$$

où i est l'intensité du courant en ampères et où les longueurs sont comptees en centimètres, et en direction normale au plan passant par les deux directions citées plus haut : ensuite il sera dirigé vers les y négatifs, si l'élément dl est situé dans le premier quadrant, comme sur la figure.

Alors, si l'on appelle $\cos\alpha$, $\cos\beta$, $\cos\gamma$ les cosinus directeurs de l'action, $\cos\alpha_1$, $\cos\beta_1$, $\cos\gamma_1$ les cosinus directeurs de l'élément dl et $\cos\alpha_2$. $\cos\beta_2$, $\cos\gamma_2$ les cosinus directeurs de la direction allant du point (x,o,z) au point (ξ,η,o), on aura d'après les règles connues de la géométrie analytique :

$$\cos a = \frac{\cos\beta_1 \cos\gamma_2 - \cos\gamma_1 \cos\beta_2}{\sin\omega}$$

$$\cos\beta = \frac{\cos\gamma_1 \cos a_2 - \cos a_1 \cos\gamma_2}{\sin\omega}$$

$$\cos\gamma = \frac{\cos a_1 \cos\beta_2 - \cos\beta_1 \cos a_2}{\sin\omega}$$

Les composants de l'action seront donc

$$p_x = \frac{1}{10}\, i\, \frac{dl}{r_1^{\,2}} (\cos\beta_1 \cos\gamma_2 - \cos\gamma_1 \cos\beta_2)$$

$$p_y = \frac{1}{10}\, i\, \frac{dl}{r_1^{\,2}} (\cos\gamma_1 \cos a_2 - \cos a_1 \cos\gamma_2)$$

$$p_z = \frac{1}{10}\, i\, \frac{dl}{r_1^{\,2}} (\cos a_1 \cos\beta_2 - \cos\beta_1 \cos a_2)$$

Il reste à trouver les cosinus directeurs. Or, nous avons

$$\cos a_1 = -\sin\theta, \quad \cos\beta_1 = \cos\theta, \quad \cos\gamma_1 = o$$

$$\cos a_2 = \frac{A\cos\theta - x}{r_1}, \quad \cos\beta_2 = \frac{A\sin\theta}{r_1}, \quad \cos\gamma_2 = -\frac{z}{r_1}$$

ce qui donne :

$$p_x = -\frac{i}{10}\frac{z\cos\theta}{r_1^{\,3}}\, dl$$

$$p_y = -\frac{i}{10}\frac{z\sin\theta}{r_1^{\,3}}\, dl$$

$$p_z = -\frac{i}{10}\frac{A - x\cos\theta}{r_1^{\,3}}\, dl$$

L'action d'un élément situé symétriquement à celui-ci par rapport au plan des xz sera obtenue en substituant $-\theta$ à θ ; donc ces composants sont respectivement p_x, $-p_y$ et p_z.

Donc l'action résultant des deux éléments sera

$$-\frac{i}{5}\frac{z\cos\theta}{r_1^3}\,dl$$

$$o,$$

et

$$-\frac{i}{5}\frac{A - x\cos\theta}{r_1^3}\,dl$$

Donc l'action totale du courant sera, dl étant égal à $Ad\theta$

$$P_x = -\frac{i}{5}Az\int_o^{\pi}\frac{\cos\theta d\theta}{r_1^3}$$

$$P_y = o$$

$$P_z = -\frac{i}{5}A\int_o^{\pi}\frac{A - x\cos\theta}{r_1^3}\,d\theta$$

où

$$r_1^2 = x^2 + z^2 + A^2 - 2Ax\cos\theta$$

Donc, d'après la remarque faite plus haut, on obtient H_R et H_z en remplaçant, dans P_x et P_z, x par R ; donc enfin

$$\left.\begin{aligned} H_R &= -\frac{i}{5}Az\int_o^{\pi}\frac{\cos\theta d\theta}{\left[R^2 + z^2 + A^2 - 2AR\cos\theta\right]^{\frac{3}{2}}} \\ H_z &= -\frac{i}{5}A\int_o^{\pi}\frac{(A - R\cos\theta)d\theta}{\left[R^2 + z^2 + A^2 - 2AR\cos\theta\right]^{\frac{3}{2}}} \end{aligned}\right\}$$

Cela posé, les équations définissant Φ prendront la forme :

$$\frac{\partial\Phi}{\partial R} = \frac{i}{5}AR\int_o^{\pi}\frac{(A - R\cos\theta)d\theta}{\left[R^2 + z^2 + A^2 - 2AR\cos\theta\right]^{\frac{3}{2}}}$$

$$\frac{\partial\Phi}{\partial z} = -\frac{i}{5}ARz\int_o^{\pi}\frac{\cos\theta d\theta}{\left[R^2 + z^2 + A^2 - 2AR\cos\theta\right]^{\frac{\varepsilon}{2}}}$$

De la dernière équation, on tire

$$\Phi = \frac{i}{5}AR\int_o^{\pi}\frac{\cos\theta d\theta}{\sqrt{R^2 + z^2 + A^2 - 2AR\cos\theta}} + F(R)$$

où F(R) est une fonction de R seul qu'on détermine à l'aide de la première équation ; en effet, on trouve en dérivant l'expression partiellement par rapport à R

$$\frac{\partial \Phi}{\partial R} = \frac{i}{5} A \int_o^{\pi} \frac{\cos \theta d\theta}{\sqrt{R^2 + z^2 + A^2 - 2AR \cos \theta}} +$$

$$- \frac{i}{5} AR \int^{\pi} \frac{(R - A \cos \theta) \cos \theta d\theta}{\left[R^2 + z^2 + A^2 - 2AR \cos \theta\right]^{\frac{\varepsilon}{2}}} + F'(R),$$

donc, à l'aide de l'équation précédente pour $\frac{\partial \Phi}{\partial R}$:

$$F'(R) = \frac{i}{5} A \int_o^{\pi} \frac{AR \sin^2 \theta d\theta}{\left[R^2 + z^2 + A^2 - 2AR \cos \theta\right]^{\frac{3}{2}}} +$$

$$- \frac{i}{5} A \int_o^{\pi} \frac{\cos \theta d\theta}{\sqrt{R^2 + z^2 + A^2 - 2AR \cos \theta}}$$

Calculons la première intégrale à l'aide de l'intégration par parties en posant

$$\sin \theta = u, \quad \frac{AR \sin \theta d\theta}{\left[R^2 + z^2 + A^2 - 2AR \cos \theta\right]^{\frac{\varepsilon}{2}}} = dv$$

d'où

$$du = \cos \theta d\theta, \quad v = -\frac{1}{\sqrt{R + z^2 A^2 - 2AR \cos \theta}}$$

ce qui donne

$$\frac{iA}{5} \int_o^{\pi} \frac{AR \sin^2 \theta d\theta}{\left[R^2 + z^2 + A^2 - 2AR \cos \theta\right]^{\frac{3}{2}}} =$$

$$= \frac{iA}{5} \int_o^{\pi} \frac{\cos \theta d\theta}{\sqrt{R^2 + z^2 + A^2 - 2AR \cos \theta}}$$

parce que uv est nul pour $\theta = \pi$ et pour $\theta = o$.

Donc

$$F'(R) = o$$

et par conséquent F(R) sera constante. Comme il suffit d'avoir une seule solution Φ, on peut choisir F(R) = o ce qui donne

$$\Phi = \frac{i}{5} AR \int_o^{\pi} \frac{\cos \theta d\theta}{\sqrt{R^2 + z^2 + A^2 - 2AR \cos \theta}}$$

11. *Expressions de* Φ, *de* H_R *et de* H_Z *à l'aide des intégrales elliptiques. Développements en série.*

La fonction Φ joue un rôle important aussi bien dans l'hydrodynamique que dans la théorie moderne de l'électricité.

Ainsi on trouve cette fonction dans la théorie des tourbillons circulaires, par exemple dans le tome III de la *mécanique rationnelle de M. Appell* (I édition). La formule à la p. 434 devient identique à notre formule (voir plus haut) si l'on remplace les lettres

$$\psi,\ \mathrm{I},\ q,\ q',\ z',\ \varepsilon$$

respectivement par

$$\Phi,\ \frac{\pi i}{10},\ \mathrm{R},\ \mathrm{A},\ o,\ 0$$

Dans la théorie de l'électricité, on trouve, par exemple, cette fonction dans le tome II de *Clerk Maxwell: A Treatise on electricity and magnetism* (troisième édition); en effet, si l'on remplace dans la formule pour χ à la page 339 les lettres

$$\mathrm{M},\ a,\ \mathrm{C},\ \Phi - \Phi'$$

par

$$\frac{20\pi}{i}\,\Phi,\ \mathrm{R},\ z,\ 0$$

et si l'on effectue une intégration, on retombe précisément sur l'équation de Φ.

On peut donc à cette fonction appliquer les résultats déjà connus.

Ainsi, en introduisant avec Appell la nouvelle variable ω définie par

$$\theta = \pi - 2\omega$$

on trouve

$$\Phi = \frac{i}{5}\sqrt{\mathrm{AR}}\,\varkappa \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{2\sin^2\omega - 1}{\sqrt{1 - \varkappa^2 \sin^2\omega}}\, d\omega$$

où le module $\varkappa$ est défini par la relation

$$\varkappa = \frac{2\sqrt{\mathrm{AR}}}{\sqrt{(\mathrm{A}+\mathrm{R})^2 + z^2}}$$

En introduisant les intégrales elliptiques

$$E = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - \kappa^2 \sin^2 \omega}\, d\omega$$

$$F = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\omega}{\sqrt{1 - \kappa^2 \sin^2 \omega}}$$

on trouve

$$\Phi = \frac{i\sqrt{AR}}{5}\left[\frac{2 - \kappa^2}{\kappa} F - \frac{2}{\kappa} E\right]$$

conformément à la formule chez *Maxwell l. c.*, où la lettre κ est remplacée par c et les autres par les lettres précédemment indiquées.

Par cette formule on peut calculer Φ à l'aide des tables bien connues de E et F qu'on trouve chez *Legendre: Traité des fonctions elliptiques.* Cependant pour κ très petit on aura plus d'avantage à recourir à un développement en série, qu'on peut trouver de la manière suivante.

Posons pour abréger

$$f(\kappa) = \kappa \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{2 \sin^2 \omega - 1}{\sqrt{1 - \kappa^2 \sin^2 \omega}}\, d\omega$$

de manière que

$$\Phi = \frac{i}{5}\sqrt{AR}\, f(\kappa)$$

On a

$$(1 - \kappa^2 \sin^2 \omega)^{-\frac{1}{2}} = 1 + \frac{1}{2}\kappa^2 \sin^2 \omega + \frac{1.3}{2.4}\kappa^4 \sin^4 \omega + \ldots$$
$$\ldots + \frac{1.3.5 \ldots (2n-1)}{2.4.6 \ldots 2n}\kappa^{2n} \sin^{2n} \omega + \ldots$$

d'où

$$\frac{2 \sin^2 \omega - 1}{\sqrt{1 - \kappa^2 \sin^2 \omega}} = 2 \sin^2 \omega - 1 + \frac{1}{2}\kappa^2(2 \sin^4 \omega - \sin^2 \omega) + \frac{1.3}{2.4}\kappa^4(2 \sin^6 \omega - \sin^4 \omega) + \ldots$$
$$\ldots + \frac{1.3.5 \ldots (2n-1)}{2.4.6 \ldots 2n}\kappa^{2n}(2 \sin^{2n+2} \omega - \sin^{2n} \omega) + \ldots$$

En posant

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin^{2k} \omega d\omega = J_{2k}$$

on aura donc

$$f(\varkappa) = (2I_2 - I_0)\varkappa + \frac{1}{2}(2I_4 - I_2)\varkappa^3 + \frac{1}{2}\frac{3}{4}(2I_6 - I_4)\varkappa^5 + \dots$$
$$\dots + \frac{1.3.5 \dots (2n-1)}{2.4.6 \dots 2n}(2I_{2n+2} - I_{2n})\varkappa^{2n+1} + \dots$$

Mais

$$2I_2 - I_0 = o$$
$$2I_4 - I_2 = \left(2.\frac{3}{4} - 1\right) I_2 = \frac{1}{2} I_2 = \frac{\pi}{8}$$
$$2I_{2n+2} - I_{2n} = \left(2\frac{2n+1}{2n+2} - 1\right) I_{2n} = \frac{n}{n+1}\frac{1.3.5 \dots (2n-1)}{2.4.6 \dots 2n}\frac{\pi}{2}$$

ce qui donne

$$f(\varkappa) = \frac{\pi}{2}\left\{\frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}\right)^2 \varkappa^3 + \frac{2}{3}\left(\frac{1.3}{2.4}\right)^2 \varkappa^5 + \dots + \frac{n}{n+1}\left(\frac{1.3.5 \dots (2n-1)}{2.4.6 \dots 2n}\right)^2 \varkappa^{2n+1} + \dots\right\}$$

ce qui donne aisément la valeur de $f(\varkappa)$ pour $\varkappa$ petit. Cette série converge pour chaque valeur $\varkappa < 1$.

Une autre formule très avantageuse est la suivante que nous donnons sans démonstration :

$$f(\varkappa) = F.\left[\frac{\varkappa_1}{2} + \frac{\varkappa_1\varkappa_2}{4} + \frac{\varkappa_1\varkappa_2\varkappa_3}{8} + \dots + \frac{\varkappa_1\varkappa_2\varkappa_3 \dots \varkappa_n}{2^n} + \dots\right]$$

où

$$F = \frac{\pi}{2}(1 + \varkappa_1)(1 + \varkappa_2)(1 + \varkappa_3) \dots (1 + \varkappa_n) \dots$$

et où

$$\varkappa_1 = \frac{2\sqrt{\varkappa}}{1+\varkappa}, \quad \varkappa_2 = \frac{2\sqrt{\varkappa_1}}{1+\varkappa_1}, \quad \dots \varkappa_n = \frac{2\sqrt{\varkappa_{n-1}}}{1+\varkappa_{n-1}}, \quad \dots$$

On la trouve en appliquant les principes de la théorie des fonctions elliptiques.

Chez *Maxwell*, p. 347, on trouve une table des logarithmes de la fonction $f(\varkappa)$ depuis

$$\varkappa = \sin 60° \quad \text{jusqu'à} \quad \varkappa = \sin (89°54')$$

A cause des applications numériques, j'ai aussi fait calculer la table qui suit.

Table de la fonction $f(\varkappa)$

$(\varkappa = \sin a)$

a	$f(\varkappa)$	a	$f(\varkappa)$	a	$f(\varkappa)$
1°	0.0000010	31°	0.03358	61°	0.33673
2°	0.0000083	32°	0.03713	62°	0.35891
3°	0.0000282	33°	0.04093	63°	0.38247
4°	0.0000669	34°	0.04504	64°	0.41218
5°	0.0001307	35°	0.04944	65°	0.43418
6°	0.0002261	36°	0.05411	66°	0.46255
7°	0.0003594	37°	0 05915	67°	0.49284
8°	0.0005371	38°	0.06448	68°	0.52517
9°	0 00078	39°	0.07017	69°	0.55974
10°	0.00105	40°	0.07623	70°	0.59675
11°	0.00140	41°	0.08270	71°	0.63649
12°	0.00185	42°	0.08960	72°	0.67864
13°	0.00231	43°	0.09688	73°	0.72733
14°	0.00296	44°	0.10465	74°	0.77509
15°	0.00357	45°	0.11289	75°	0.82891
16°	0.00438	46°	0 12163	76°	0.88760
17°	0.00524	47°	0.13091	77°	0.95171
18°	0.00620	48°	0.14073	78°	1.02210
19°	0.00733	49°	0.15115	79°	1.09983
20°	0.00864	50°	0.16218	80°	1.18628
21°	0.00998	51°	0.17386	81°	1 28318
22°	0.01153	52°	0.18591	82°	1.39302
23°	0.01323	53°	0.19938	83°	1.51911
24°	0.01508	54°	0.21327	84°	1.66642
25°	0 01717	55°	0.22761	85°	1 84254
26°	0.01936	56°	0.24358	86°	2.06019
27°	0.02186	57°	0.26009	87°	2.34322
28°	0.02439	58°	0.27760	88°	2.74501
29°	0.02720	59°	0.29617	89°	3.43559
30°	0 03028	60°	0.31585	90°	∞

Il reste à trouver des expressions convenables pour les composants H_R et H_z de l'action magnétique du courant. Nous avions trouvé plus haut

$$H_R = -\frac{i}{5} A z \int_0^\pi \frac{\cos\theta d\theta}{\left[R^2 + z^2 + A^2 - 2AR\cos\theta\right]^{\frac{3}{2}}}$$

$$H_z = -\frac{i}{5} A \int_0^\pi \frac{(A - R\cos\theta)\, d\theta}{\left[R^2 + z^2 + A^2 - 2\,AR\cos\theta\right]^{\frac{3}{2}}}$$

Introduisons comme plus haut l'angle ω défini par la relation

$$\theta = \pi - 2\omega$$

On trouve alors, après un peu de calcul et en appliquant les formules connues pour la réduction des intégrales elliptiques :

$$H_R = -\frac{iz}{20R\sqrt{AR}}\left[\frac{2\varkappa - \varkappa^3}{1-\varkappa^2}E - 2\varkappa F\right]$$

$$H_z = -\frac{i(A^2 - R^2 - z^2)}{40AR\sqrt{AR}}\frac{\varkappa^3}{1-\varkappa^2}E - \frac{i}{10\sqrt{AR}}\varkappa F$$

On arriverait au même résultat en prenant les dérivées partielles de la fonction

$$\Phi = \frac{i}{5}\sqrt{AR}\,f(\varkappa)$$

par rapport à R et à z, $\varkappa$ étant donné par la formule

$$\varkappa^2 = \frac{4AR}{(A+R)^2 + z^2}$$

On en tire aisément aussi des développements en série pour $\varkappa$ petit.

Enfin, remarquons que *si $\varkappa$ tend vers l'unité, c'est-à-dire si le point (R,z) tend vers le point (A,o), alors $f(\varkappa)$ et Φ deviennent infiniment grands* (*voir Appell, l. c. p. 437*). En effet, E reste fini et F croit vers l'infini.

12. — *Sur les parties d'espace renfermant les trajectoires, dans le cas d'un aimant élémentaire et d'une série de courants de même axe. Construction par addition graphique.*

Si notre courant, au lieu d'être situé dans le plan des XY, est situé dans un plan parallèle à une hauteur B au-dessus de ce plan, avec son centre sur l'axe des Z, la fonction Φ correspondante sera

$$\Phi = \frac{i}{5}\sqrt{AR}\,f(\varkappa)$$

ou

$$\varkappa^2 = \frac{4AR}{(A+R)^2 + (z-B)^2}$$

Cela posé, supposons qu'on a n pareils courants $L_1, L_2, \ldots L_n$, et désignons par A_v, B_v, i_v, et $\varkappa_v$ les constantes appartenant à un quelconque L_v d'entre eux; enfin, supposons que l'on a

encore à l'origine un aimant élémentaire de moment M, avec son axe coïncidant avec l'axe des Z, son pôle sud vers les z positifs.

D'après les propriétés de la fonction Φ démontrées au § 4, elle aura donc pour ce système la forme suivante:

$$\Phi = M\frac{R^2}{r^3} + \sqrt{R}\left\{\frac{i_1}{5}\sqrt{A_1}\, f(\kappa_1) + \ldots + \frac{i_v}{5}\sqrt{A_v}\, f(\kappa_v) + \ldots \right.$$
$$\left. \ldots + \frac{i_n}{5}\sqrt{A_n}\, f(\kappa_n)\right\}$$

où

$$\kappa_v^2 = \frac{4A_vR}{(R+A_v)^2 + (z-B_v)^2}$$

Il est même facile de passer à des courants non linéaires, en augmentant leur nombre vers l'infini, ce qui conduira à une intégration. Nous ne nous en occuperons cependant pas.

L'espace dont les trajectoires correspondantes aux mêmes valeurs de la constante C (voir § 8) ne peuvent pas sortir, était construit à l'aide des courbes suivantes:

$$\frac{\Phi + C}{H_0 \varrho_0 R} = k$$

qui peut s'écrire

$$\Phi + C - H_0\varrho_0 k R = o$$

Dans le cas actuel, cette équation prend la forme

$$M\frac{R^2}{r^3} + \sqrt{R}\sum_{\nu=1}^{\nu=n}\left[\frac{i_\nu}{5}\sqrt{A_\nu}\; f(\kappa_\nu)\right] + C - H_0\varrho_0 k R = o \qquad \text{(IX)}$$

En divisant par $\sqrt{R}$ cette équation prend la forme suivante

$$F + G_1 + G_2 + \ldots + G_\nu + \ldots + G_n + H = o$$

où

$$\left.\begin{aligned} F &= M\frac{R^{\frac{3}{2}}}{r^3} \\ G_\nu &= \frac{i_\nu}{5}\sqrt{A_\nu}\, f(\kappa_\nu) \\ H &= \frac{C}{\sqrt{R}} - H_0\varrho_0 k\sqrt{R} \end{aligned}\right\} \qquad \text{(X)}$$

Nous allons indiquer un procédé graphique extrêmement simple pour construire successivement ces courbes.

A cet effet, on se servira des méthodes connues *d'addition*

graphique. On construit d'abord un réseau assez dense de courbes F = constante, où on donne à la constante une série de valeurs équidistantes de différence Δ assez petite.

Ces courbes sont ici des *cercles;* en effet, de l'équation

$$\mathrm{M}\,\frac{\mathrm{R}^{\frac{3}{2}}}{r^3} = a$$

on tire

$$\mathrm{M}^{\frac{2}{3}}\,\mathrm{R} = a^{\frac{2}{3}}\,(\mathrm{R}^2 + z^2)$$

ce qui est un cercle passant par l'origine.

Cela posé, on construit sur la même planche un réseau G_1 = constante, où l'on donne à la constante une série de valeurs équidistantes avec la même différence que pour le réseau précédent.

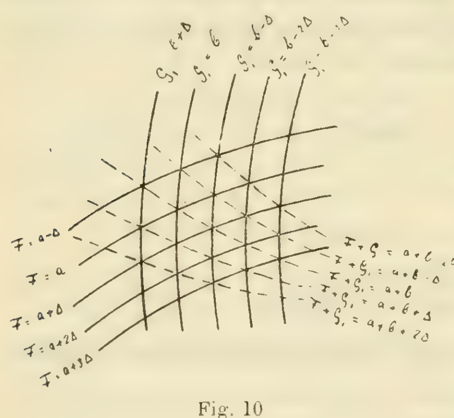


Fig. 10

Les courbes diagonales représentent alors les courbes

$$\mathrm{F} + \mathrm{G}_1 = \text{constante}$$

En effet, un point (R,r) dont les coordonnées satisferont en même temps des équations $\mathrm{F} = a - \lambda\Delta$ et $\mathrm{G}_1 = b + \lambda\Delta$, satisferont aussi à l'équation

$$\mathrm{F} + \mathrm{G}_1 = a + b$$

et sera donc situé sur cette courbe pour chaque valeur de l'indice λ.

Or, ici les courbes G_1 = constante sont aussi des cercles.

En effet, si G_1 est constante, $\varkappa_1$ l'est aussi, c'est-à-dire que

$$\frac{4\mathrm{A}_1\mathrm{R}}{(\mathrm{R} + \mathrm{A}_1)^2 + (z - \mathrm{B}_1)^2} = \text{constante}$$

ce qui est l'équation d'un cercle.

De même, à l'aide du réseau $F + G_1 =$ *constante* et du réseau $G_2 =$ *constante*, on construit le réseau

$$F + G_1 + G_2 = \text{constante}$$

et ainsi de suite.

Comme les courbes $G_1 =$ *constante*, chacune des autres courbes sont aussi des *cercles*.

De cette manière on arrive enfin à un réseau

$$F + G_1 + G_2 + \ldots + G_\nu + \ldots + G_n = c$$

où c a une série de valeurs équidistantes.

Les points d'intersection de ces courbes avec les courbes

$$H = - c$$

c'est-dire *avec les lignes droites*

$$\frac{C}{\sqrt{R}} - H_0 \varrho_0 k \sqrt{R} = - c$$

seront donc situés sur la courbe cherchée

$$F + G_1 + G_2 + \ldots + G_n + H = o$$

En faisant ensuite varier C de toutes les manières possibles et en faisant varier k, pour chaque valeur de C, entre —1 et +1 on arrive enfin aux espaces considérées.

Ces espaces peuvent donc être trouvés par une série de constructions d'addition graphique des réseaux des lignes droites et des cercles.

Pour $k = o$, on trouve en particulier les lignes de force du champ magnétique.

Il n'est pas difficile de voir qu'on aura ici comme cas particulier une construction des lignes de force d'un seul anneau, à l'aide des cercles et des lignes droites, comme *Maxwell* l'a fait voir dans son Traité. (Voir *l. c.* p. 340.)

Quant à la méthode d'addition graphique, on peut faire cette remarque importante :

S'il s'agit de faire l'addition graphique de deux réseaux *très peu différents*

$$F_1 = a$$

et

$$F_2 = b$$

il est pratiquement impossible d'en déduire le réseau résultant

$$F_1 + F_2 = c$$

parce qu'on aura trop peu de points d'intersection; dans ce cas j'ai recouru à la remarque que le réseau $F_1 + F_2 = c$ peut s'écrire

$$(F_1 + \Phi) + (F_2 - \Phi) = c$$

où Φ est une fonction quelconque des coordonnées, c'est-à-dire, sera la somme graphique des réseaux

$$F_1 + \Phi = a$$

et

$$F_2 - \Phi = b$$

On peut, par exemple, comme réseau $\Phi =$ *constante* choisir une série de lignes droites parallèles convenables.

On construit alors ces deux réseaux et on obtient alors facilement que les points d'intersections sont assez nombreux pour admettre une addition graphique facile.

Nous nous sommes couramment servis de cet artifice dans les constructions.

13. — Cas spécial d'un aimant élémentaire et d'un anneau avec centre et axe commun.

Dans ce cas, on aura avec les notations du paragraphe précédent pour les courbes $\Phi + C - k H_0\rho_0 k R = o$ l'équation suivante :

$$M \frac{R^2}{r^3} + \frac{i}{5} \sqrt{AR}\, f(\varkappa) + C - H_0\rho_0 kR = o \qquad \text{(XI)}$$

où

$$\varkappa = \frac{2\sqrt{AR}}{\sqrt{(A+R)^2 + z^2}}$$

Ici M est le moment de l'aimant élémentaire, A le rayon du courant, i son intensité en Ampères et C une constante d'intégration. Enfin k est une constante dont la valeur absolue n'excède pas 1 et $H_0\rho_0$ est le produit caractéristique des corpuscules en mouvement.

Enfin

$$f(\varkappa) = \varkappa \int_o^{\frac{\pi}{2}} \frac{2\sin^2\omega - 1}{\sqrt{1 - \varkappa^2 \sin^2\omega}}\, d\omega$$

Quand il s'agit de discuter les différentes formes des courbes pour tous les systèmes possibles des constantes

$$M, i, A, C, H_0\varrho_0 \text{ et } k$$

il s'agit de faire des transformations convenables pour réduire la discussion autant que possible.

Comme premier point de vue, nous avons étudié la déformation successive que subissent ces courbes quand i croît de zéro à l'infini, les autres constantes ayant des valeurs fixes : pour $i = o$ on est dans le cas d'un aimant élémentaire, cas traité en détail dans mon mémoire dans les *Archives* de 1907 ; pour l'analogie j'ai donc choisi comme unité de longueur $\sqrt{\frac{M}{H_0\rho_0}}$, comme à l'endroit cité, c'est-à-dire, que j'ai posé

$$R = \sqrt{\frac{M}{H_0\varrho_0}}\, R_1, \qquad z = \sqrt{\frac{M}{H_0\varrho_0}}\, z_1$$

et

$$A = \sqrt{\frac{M}{H_0\varrho_0}}\, A_1, \qquad C = 2\gamma\sqrt{M \cdot H_0\varrho_0}$$

Cela donne par substitution dans l'équation ci-dessus

$$\frac{R_1^2}{r_1^3} + \frac{i}{5H_0\varrho_0}\sqrt{A_1 R_1}\, f(\varkappa) + 2\gamma - kR_1 = o$$

où

$$\varkappa = \frac{2\sqrt{A_1 R_1}}{\sqrt{(A_1 + R_1)^2 + z_1^2}}$$

Pour $i = o$, on aura l'équation bien connue de mon mémoire

$$\frac{R_1^2}{r_1^3} + 2\gamma - kR_1 = o$$

Pour la construction graphique, nous écrirons l'équation ainsi :

$$F_1 + F_2 + F_3 = o$$

où nous avons posé, pour abréger

$$F_1 = \frac{R_1^{\frac{3}{2}}}{r_1^3}$$

$$F_2 = \frac{i\sqrt{A_1}}{5H_0\varrho_0} f(\varkappa)$$

$$F_3 = \frac{2\gamma}{\sqrt{R_1}} - k\sqrt{R_1}$$

et comme dans le paragraphe précédent, on construit d'abord le réseau de cercles $F_1 = a$, ensuite le réseau de cercles $F_2 = b$ et par addition graphique le réseau résultant

$$F_1 + F_2 = c$$

Enfin, par les points d'intersection avec le réseau des lignes droites $F_3 = -c$ on tire la courbe cherchée.

Quant à ces réseaux, le premier $F_1 = a$ est toujours le même, indépendamment des valeurs des constantes $M, i, A, C, H_0\rho_0$ et k.

Le second réseau $F_2 = b$, varie d'abord en situation avec A_1; ensuite, pour A_1 fixe il varie avec le rapport entre $H_0\rho_0$ et i; en effet, l'equation $F_2 = b$ peut s'écrire

$$f(\varkappa) = \frac{5H_0\varrho_0}{i\sqrt{A_1}}\, b$$

Ainsi, pour une discussion complète à l'aide de planches graphiques, on aurait à construire une série *à double entrée* de courbes $F_2 = b$.

C'est cette manière de procéder qui a été la base des résultats numériques[1], publiés dans ma note des Comptes Rendus du 24 octobre 1910.

Cependant pour une étude graphique, systématique et complète des courbes

$$M\frac{R^2}{r^3} + \frac{i}{5}\sqrt{AR}\, f(\varkappa) + C - H_0\varrho_0 k R = o$$

il est avantageux *de prendre le rayon A comme unité de longueur*, en posant

$$R = AR_1, \quad z = Az_1$$

ce qui donne

$$F + G + H = o$$

avec

$$\left.\begin{aligned} F &= \frac{R_1^{\frac{3}{2}}}{r_1^3} \\ G &= \frac{iA^2}{5M} f(\varkappa) \\ H &= \frac{AC}{M}\frac{1}{\sqrt{R_1}} - \frac{H_0\varrho_0 k A^2}{M}\sqrt{R_1} \end{aligned}\right\}$$

[1] Tous les calculs se rapportant aux applications numériques publiées dans cette note ont été effectués par un de mes assistants, M. *Tambs-Lyche*, étudiant en mathématiques. La rédaction de la deuxième partie, jusqu'au § 14, était finie déjà dès le printemps 1909. La rédaction du reste a été recommencée en juin 1911.

Ici $\varkappa$ a la valeur

$$\varkappa = \frac{2\sqrt{R_1}}{\sqrt{(R_1+1)^2 + z_1^2}}$$

On aura ici, que le réseau $G = b$ peut s'écrire

$$f(\varkappa) = \frac{5\,M}{i\,A^2}\,b$$

ce qui donne une série de cas correspondant aux diverses valeurs du rapport entre M et iA^2. Cependant, comme le rayon du courant est pris comme unité de longueur, *on n'aura pas cette fois une série à double entrée*, ce qui constitue une simplification notable pour les constructions graphiques.

Comme nous l'avons dit auparavant, chacune des courbes du réseau est un cercle. *Voici un procédé pratique pour construire un tel cercle:*

Posons

$$\varkappa = \sin \alpha$$

où α est un angle compris entre 0 et 90°. Alors α sera donné comme fonction de b par l'équation $G = b$, c'est-à-dire par l'équation

$$f(\sin \alpha) = \frac{5\,M}{i\,A^2}\,b$$

D'autre part, en introduisant la valeur de $\varkappa$, l'équation donne

$$\left[R_1 - \frac{1+\cos^2\alpha}{\sin^2\alpha}\right]^2 + z_1^2 = \left[\frac{2\cos\alpha}{\sin^2\alpha}\right]^2$$

ce qui est un cercle ayant son centre sur l'axe des R_1 et de rayon ρ donné par l'équation

$$\rho = \frac{2\cos\alpha}{\sin^2\alpha}$$

En appelant B l'abscisse du point d'intersection avec l'axe des R_1, entre le centre et l'origine, on trouve

$$B = \operatorname{tg}^2\frac{\alpha}{2}$$

Cela posé, pour trouver aisément les valeurs de ρ et de B correspondantes à une valeur donnée de b, j'ai fait calculer une table des valeurs de ρ et de B pour tous les degrés α compris entre 0 à 90°, analogue à la table de la fonction f (sin α) à la fin

du § 11. A l'aide ce cette table et de celle relative à $f(\sin \alpha)$ je trouve alors pour chaque valeur de α les valeurs correspondantes de B, ρ et $f(\sin \alpha)$ et à cause de l'équation

$$\frac{5\,M}{i\,A^2}\,b = f(\sin \alpha)$$

la valeur correspondante de $\frac{5M}{iA^2}b$.

Je les marque sur une planche en choisissant B comme abscisse et ρ et $\frac{5M}{iA^2}b$ comme ordonnées respectives.

De cette manière j'obtiens deux courbes

$$\frac{5\,M}{i\,A^2}\,b = \varphi(B)$$

$$\varrho = \psi(B)$$

Cela posé, supposons que b soit donné : on calcule alors $\frac{5M}{iA^2}b$ et le marque sur l'axe des ordonnés.

A l'aide de la courbe supérieure (voir la figure 11) on trouve la valeur correspondante de B et sur l'autre courbe la valeur correspondante de ρ.

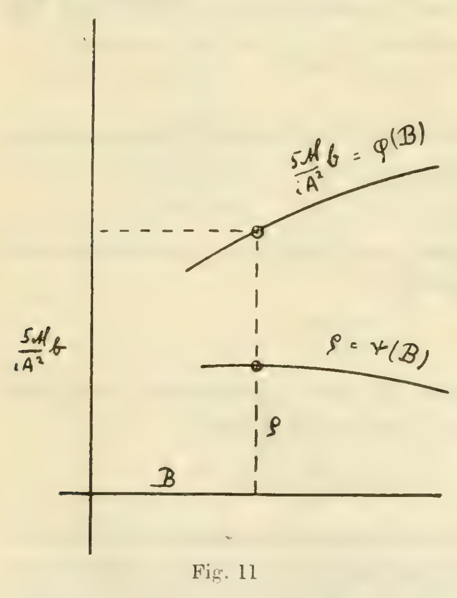


Fig. 11

A l'aide de ces valeurs de B et de ρ, le cercle correspondant à la valeur donnée de b peut être immédiatement tracé.

De cette manière il faudra construire une série de réseaux de pareils cercles pour une série de valeurs caractéristiques du facteur $\frac{5\,M}{i\,A^2}$.

Cependant, pour arriver plus vite au but de ce mémoire, il

Table des fonctions B (a) *et* $\varrho\,(a)$

a	B	ϱ	a	B	ϱ	a	B	ϱ
0	0.00000	∞						
1°	0.00008	6565.28	31°	0.07691	6.46274	61°	0.34698	1.26754
2°	0.00030	1641.07	32°	0.08223	6.03992	62°	0.36103	1.20440
3°	0.00069	729.179	33°	0.08774	5.65463	63°	0.37552	1.14371
4°	0.00122	410.017	34°	0.09347	5.30250	64°	0.39046	1.08430
5°	0.00191	262.290	35°	0.09941	4.97980	65°	0.40586	1.02903
6°	0.00275	182.044	36°	0.10557	4.68328	66°	0.42173	0.97473
7°	0.00374	133.657	37°	0.11196	4.41014	67°	0.43809	0.92227
8°	0.00489	102.252	38°	0.11856	4.15794	68°	0.45496	0.87151
9°	0.00619	80.7207	39°	0.12540	3.92454	69°	0.47236	0.82235
10°	0.00765	65.3192	40°	0.13247	3.69955	70°	0.49029	0.77466
11°	0.00927	53.9236	41°	0.13979	3.50691	71°	0.50878	0.72834
12°	0.01105	45.2560	42°	0.14735	3.31957	72°	0.52786	0.68328
13°	0.01298	38.5104	43°	0.15517	3.14478	73°	0.54754	0.63940
14°	0.01508	33.1576	44°	0.16324	2.98141	74°	0.56783	0.59660
15°	0.01733	28.8391	45°	0.17157	2.82843	75°	9.58879	0.55479
16°	0.01975	25.3044	46°	0.18017	2.68493	76°	0.61041	0.51392
17°	0.02234	22.3746	47°	0.18906	2.55011	77°	0.63272	0.47388
18°	0.02508	19.9192	48°	0.19823	2.42323	78°	0.65574	0.43461
19°	0.02800	17.8409	49°	0.20769	2.30363	79°	0.67954	0.39609
20°	0.03109	16.0662	50°	0.21744	2.19073	80°	0.70409	0.35809
21°	0.03435	14.5386	51°	0.22751	2.08399	81°	0.72945	0.32072
22°	0.03778	13.2143	52°	0.23788	1.98293	82°	0.75566	0.28384
23°	0.04139	12.0587	53°	0.24858	1.88710	83°	0.78275	0.24741
24°	0.04518	11.0447	54°	0.25962	1.79611	84°	0.81072	0.21137
25°	0.04915	10.1487	55°	0.27099	1.70959	85°	0.83966	0.17565
26°	0.05330	9.35441	56°	0.28272	1.62721	86°	0.86959	0.14020
27°	0.05764	8.64604	57°	0.29481	1.54866	87°	0.90053	0.10496
28°	0.06216	8.01210	58°	0.30726	1.47366	88°	0.93256	0.06674
29°	0.06688	7.44230	59°	0.32010	1.40197	89°	0.96570	0.03492
30°	0.07180	6.92820	60°	0.33333	1.33333	90°	1.00000	0.00000

est mieux de reprendre la discussion théorique, ce que nous allons faire dans les paragraphes suivants.[1]

14. *Commencement de la discussion théorique des courbes*

$$\mathrm{M}\,\frac{\mathrm{R}^2}{r^3} + \frac{i}{5}\sqrt{\mathrm{AR}}\,f(\varkappa) + \mathrm{C} - \mathrm{H}_0\varrho_0 k\,\mathrm{R} = o$$

Leurs points doubles.

Pour discuter les courbes ci-dessous ce qui est indispensable pour la discussion des parties d'espace dont les trajectoires ne

[1] Comme nous avons dit déjà, il y a plus de deux années entre la rédaction du § 14 et celle des §§ précédents (§§ 6—13).

peuvent sortir, commençons par trouver *leurs points doubles* autres que l'origine et que le point $R = A$, $z = o$.

Introduisons de nouveau les fonctions

$$\Phi_1 = M \frac{R^2}{r^3}$$

et

$$\Phi_2 = \frac{i}{5} \sqrt{AR}\, f(\varkappa)$$

ce qui donne

$$\Phi_1 + \Phi_2 + C - H_0 \varrho_0 k R = o$$

On trouve les points doubles en question en égalant à zéro les dérivées partielles du premier membre par rapport à R et à z, ce qui donne

$$\frac{\partial \Phi_1}{\partial R} + \frac{\partial \Phi_2}{\partial R} - H_0 \varrho_0 k = o$$

$$\frac{\partial \Phi_1}{\partial z} + \frac{\partial \Phi_2}{\partial z} = o$$

Or, comme nous nous le rappelons, on a les relations

$$\frac{\partial \Phi_1}{\partial R} = - RP_z, \qquad \frac{\partial \Phi_1}{\partial z} = RP_R$$

$$\frac{\partial \Phi_2}{\partial R} = - RH_z, \qquad \frac{\partial \Phi_2}{\partial z} = RH_R$$

où P_R et P_z désignent les composantes parallèles aux axes des R et des z de la force magnétique dû à d'aimant élémentaire et H_R et H_z celles de la force magnétique due au courant ; nous avons :

$$P_R = - M \frac{3Rz}{r^5}$$

$$P_z = M \frac{r^2 - 3z^2}{r^5}$$

et

$$H_R = - \frac{i}{5} Az \int_o^\pi \frac{\cos\theta\, d\theta}{\left[R^2 + z^2 + A^2 - 2AR\cos\theta\right]^{\frac{3}{2}}}$$

$$H_z = - \frac{i}{5} A \int_o^\pi \frac{(A - R\cos\theta)\, d\theta}{\left[R + z^2 + A^2 - 2AR\cos\theta\right]^{\frac{3}{2}}}$$

Les conditions de points doubles deviennent alors

$$R(P_z + H_z) + H_0 \varrho_0 k = o$$

$$R(P_R + H_R) = o$$

Faisons d'abord voir qu'il n'y a pas *de point double sur l'axe des z autre que l'origine.* En effet, pour $R = o$, $z \gtrless o$. $P_z + H_z$ est finie, donc $H_o \rho_o k$ sera nul ; comme $H_o \rho_o > o$, *il faut donc que* $k = o$. L'équation de la courbe se réduit alors à

$$M \frac{R^2}{r^3} + \frac{i}{5} \sqrt{AR} f(\varkappa) + C = o$$

où

$$\varkappa = \frac{2\sqrt{AR}}{\sqrt{(A + R)^2 + z^2}}$$

et

$$f(\varkappa) = \frac{\pi}{2} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} \right)^2 \varkappa^3 + \frac{2}{3} \left(\frac{1.3}{2.4} \right)^2 \varkappa^5 + \ldots \right]$$

Or, si cette équation est satisfaite pour $R = o$ et $z \gtrless o$ il faut que $C = o$. L'équation sera alors

$$M \frac{R^2}{r^3} + \frac{i}{5} \sqrt{AR}\, \varkappa^3 S = o$$

où S sera une série à termes positifs, convergente en chaque point différent du point $R = A$, $z = o$. Donc l'équation devient

$$R^2 \left[\frac{M}{r^3} + \frac{i}{10} A^2 \frac{16S}{\left[(R + A)^2 + z^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right] = o$$

et comme la quantité entre parenthèses est positive, on aura que la courbe se réduit à l'axe des z seul.

Il n'y aura donc pas de point double $R = o$, $z \gtrless o$. *c. q. f. d.*

Il faut donc que $R > o$, donc :

$$P_R + H_R = o$$

ce qui peut s'écrire

$$z \left[\frac{3RM}{r^5} + \frac{iA}{5} \int_o^{\frac{\pi}{2}} \frac{\cos \theta d\theta}{\left[r^2 + A^2 - 2AR\cos\theta \right]^{\frac{3}{2}}} + \right.$$

$$\left. - \frac{iA}{5} \int_o^{\frac{\pi}{2}} \frac{\cos \theta d\theta}{\left[r^2 + A^2 + 2AR\cos\theta \right]^{\frac{3}{2}}} \right] = o$$

Or, *ici la parenthèse reste positive;* donc il faut que

$$z = o$$

c'est-à-dire, *les points doubles sont situés sur l'axe des* R.

Il reste à satisfaire à la première condition que nous écrivons ainsi :

$$P_z + H_z + \frac{H_0 \varrho_0 k}{R} = o$$

où P_z et H_z se rapportent maintenant à un point sur l'axe des R ; *elles sont donc des fonctions de* R *seul.*

Les valeurs de R satisfaisant à cette équation peuvent s'obtenir facilement de la manière suivante :

On construit les courbes

$$z = P_z + H_z$$

et

$$zR = - H_0 \varrho_0 k$$

Les valeurs cherchées de R *sont alors les abscisses de leurs points d'intersection.*

Or, la dernière courbe est une branche d'une *hyperbole équilatère,* situé au-dessus ou au-dessous de l'axe des R selon que k est négatif ou positif. Dans le cas limite $k = o$ l'hyperbole coïncide avec les axes de coordonnées.

La forme de la première courbe découle immédiatement de la variation connue de P_z et de H_z le long de l'axe des R.

En effet comme

$$P_z = \frac{M}{R^3},$$

P_z décroît de $+ \infty$ à zéro quand R croit de o à l'infini.

Quant à H_z il décroît de $- \frac{i}{5} \frac{\pi}{A}$ à $- \infty$ quand R croît de zéro à A. En passant A, H_z change de $- \infty$ à $+ \infty$ pour décroître ensuite vers zéro grand R croît vers l'infini. Pour R infiniment grand H_z sera infiniment petit du troisième ordre ainsi que P_z.

Si k est négatif, la somme

$$P_z + H_z + \frac{H_0 \varrho_0 k}{R}$$

sera *positive* pour R infiment petit et *négative* pour R infiniment grand.

En construisant les courbes d'après ces propriétés, on en tirera immédiatement les résultats suivants :

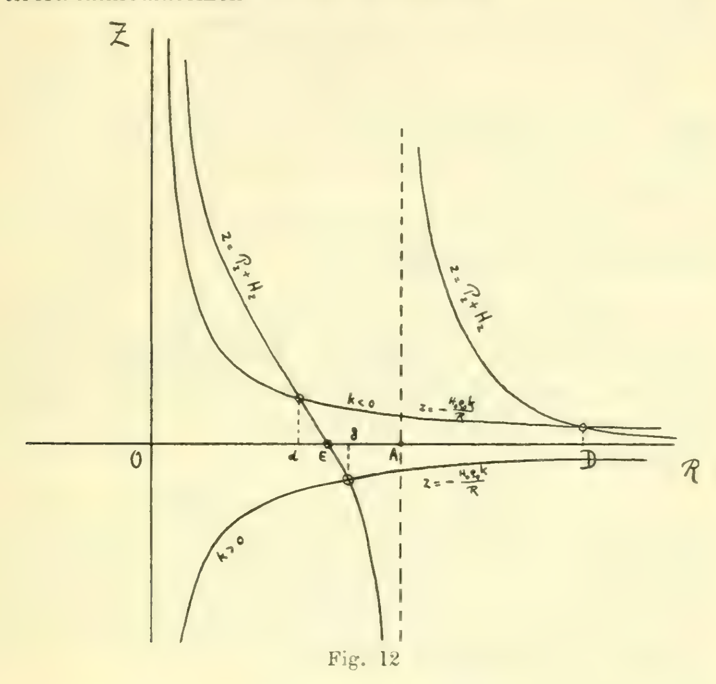


Fig. 12

1° Cas $k = o$. On aura un point double R = E au point où $P_z - H_z = o$ c'est-à-dire, où la force magnétique résultant de l'aimant et de l'anneau est nulle. Donc

$$o < E < A$$

2° Cas $k > o$. On aura un point double pour $R = \delta$ où

$$E < \delta < A$$

3° Cas $k < o$. On aura deux points doubles, pour $R = d$ et pour R = D, où

$$o < d < E$$

et

$$A < D < \infty$$

Quand à la variation de d, E, δ et D il y a à remarquer ce qui suit :

1° Si k est positif et croît, alors δ croît ; si k est négatif et croît en valeur absolue d et D iront en décroissant.

2° Si $H_o\rho_o$ croit, d et D décroissent et δ croît, tandis que E reste constante.

3° Si i croît, d, E et δ décroissent et D croît.

En effet, dans le dernier cas, par exemple, la courbe $z = P_z + H_z$ aura toutes ses ordonnées agrandies dans le même rapport, donc la branche entre l'axe des z et la droite $R = A$ se meut vers l'axe des z et l'autre branche à droite de $R = A$ s'éloigne de cet axe.

Il va sans dire que pendant la variation d'une des constantes les autres sont supposées fixes.

A ces valeurs de R *donnant des points doubles correspondent certaines valeurs de la constante* C *Nous allons voir que ces valeurs de* C *sont précisément ses maxima,* C *étant considéré comme fonction de* R *le long de l'axe des* R.

Nous avons pour $z = o$

$$C = -\frac{M}{R} - \frac{i\sqrt{A}}{5}\sqrt{R}\,f(\kappa) + H_o\varrho_o kR$$

où

$$\kappa = \frac{2\sqrt{AR}}{A + R}$$

Considérons C comme fonction de R.

Soit d'abord *k positif :*

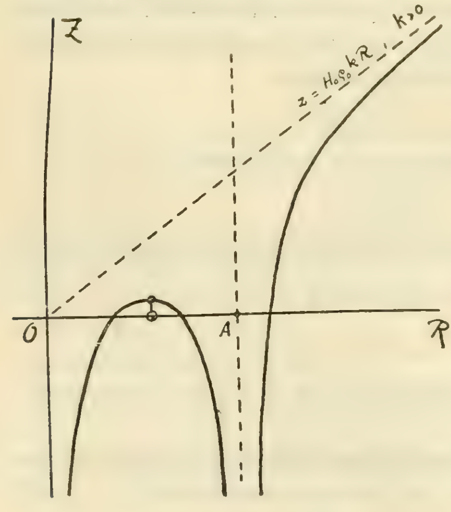


Fig. 13

Alors, pour R infiniment petit ou bien infiniment près de la valeur A, C sera négatif et infiniment grand en valeur absolue. Donc C aura un maximum entre o et A.

Si R croît de A à l'infini, C croît de $-\infty$ à $+\infty$ et la courbe C = *fonction de* R, se rapprochera asymptotiquement de la ligne droite

$$z = H_o\varrho_o kR$$

Quant au maximum de C, il peut être positif, nul ou négatif.

Soit ensuite $k = o$.

Alors, pour R infiniment grand, C tend vers zéro et l'axe des R sera asymptote. C est toujours négatif et aura comme dans le cas précédent un maximum entre $R = o$ et $R = A$.

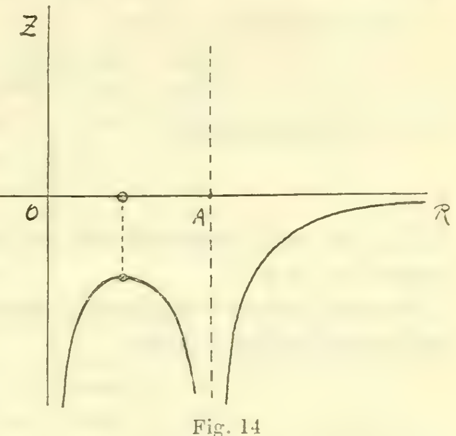


Fig. 14

Soit enfin k négatif $= - k_1$.

Alors, pour R croissant vers l'infini C décroît vers $-\infty$ et la ligne droite

$$z = - H_0 \rho_0 k_1 R$$

sera asymptote. C sera toujours négatif et comme tous les trois termes de son expression sont négatifs, la courbe sera toujours située au-dessous de la ligne ci-dessus. On aura donc un maximum entre $R = o$ et $R = A$, et un maximum pour $R > A$:

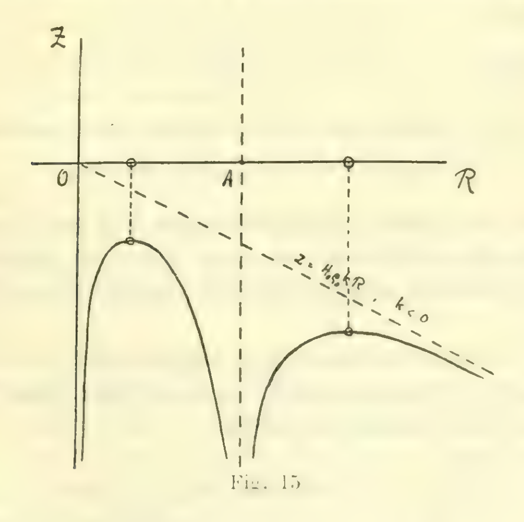


Fig. 15

Cela posé, cherchons analytiquement les maxima de C consi-

dérée comme fonction de R. En introduisant les fonctions Φ_1 et Φ_2 correspondantes à $z = o$, on aura

$$C = -\Phi_1 - \Phi_2 + H_0 \varrho_0 k R$$

Pour un maximum, on aura

$$-\frac{\partial \Phi_1}{\partial R} - \frac{\partial \Phi_2}{\partial R} + H_0 \varrho_0 k = o$$

d'où par un calcul facile :

$$P_z + H_z + \frac{H_0 k_0 \varrho}{R} = o$$

où P_z et H_z ont la même signification qu'auparavant et correspondent à $z = o$.

Mais cela donne précisément les valeurs de R correspondant aux points doubles, à savoir

$$\begin{aligned} R &= \delta \quad \text{pour } k > o \\ R &= E \quad \text{pour } k = o, \quad \text{et} \\ R &= d \\ R &= D \end{aligned} \Big\} \text{ pour } k < o$$

et en comparant cela avec la discussion de la courbe répresentant C on voit que C aura ses maxima précisément en ces points, *c.q.f.d.*

Appelons

$$C_\delta, \; C_E, \; C_d \text{ et } C_D$$

ces maxima.

15. — *Sur les valeurs des constantes correspondantes à l'application aux aurores boréales.*

Pour ne pas pousser la discussion plus loin que de raison, il sera utile dès maintenant de fixer l'ordre de grandeur des diverses constantes, quand il s'agit de l'application aux aurores boréales.

Alors l'aimant élémentaire sera assimilé avec la terre et les corpuscules en mouvement sont supposés venir d'une distance très grande, par exemple du soleil.

On a d'abord

$$M = 8{,}52 \,.\, 10^{25}$$

Quant à A, qui désigne le rayon du courant circulaire en centimètres, il faut se rappeler que celui-ci sera un anneau de

corpuscules assez permanent; en appelant $H_1 \rho_1$ le produit caractéristique de ces corpuscules, on aura :

$$A = \sqrt{\frac{M}{H_1 \varrho_1}} \text{ centimètres} \qquad = A$$

Or, pour les rayons cathodiques, les rayons β et α de radium, $H_1 \rho_1$ varie entre 100 et 400,000 et pour les rayons hypothétique que M. Birkeland a introduit pour expliquer les perturbations magnétiques, il a supposé $H_1 \rho_1 = 7.10^6$.

Choisissons donc

$$100 \leqq H_1 \varrho_1 \leqq 10^7$$

ce qui donne à peu près

$$3.10^9 < A < 10^{12}$$

centimètres, c'est-à-dire, entre 30,000 et 10 millions de kilomètres.

Quant à l'intensité du courant en Ampères, rappelons que M. Birkeland a évalué les courants causant les orages magnétiques près de la zone d'aurore, à quelques millions d'Ampères. Nous allons donc choisir par exemple

$$o \leqq i \leqq 10^8$$

à la condition seulement, que l'action du courant observé à la surface de la terre soit négligeable pour le cas des aurores de la zone de fréquence maximum et du même ordre que celui des perturbations magnétiques, quand il s'agit des aurores situé plus loin de l'axe magnétique. Nous allons y revenir dans les applications numériques.

Ensuite il faut fixer la valeur du produit $H_o \rho_o$ caractéristique pour les corpuscules se mouvant dans l'action résultant du magnétisme terrestre et du courant circulaire.

Supposons alors

$$100 \leqq H_o \varrho_o \leqq 10^6$$

Quant à la constante k, nous savons déjà qu'elle est située dans l'intervalle compris entre -1 et $+1$.

Il reste à trouver quelles valeurs de la constante C il sera nécessaire de considérer.

Prenons notre point de départ dans la remarque qu'une

première condition nécessaire pour que les corpuscules arrivent à la terre pour y causer l'aurore polaire est, que *l'espace, dont les trajectoires ne peuvent sortir s'étend sans interruption du soleil jusqu'à la terre.*

L'équation

$$M \frac{R^2}{r^3} + i \sqrt{AR}\, f(\varkappa) + C - H_o \varrho_o k R = o$$

doit donc être satisfaite aussi pour un point (R, z) de l'atmosphère terreste, k étant compris dans l'intervalle de -1 à $+1$.

Posons

$$R = r_o \sin \theta$$
$$z = r_o \cos \theta$$

où r_o est la distance du centre de la terre aux aurores boréales, en centimètres, et où θ est l'angle que fait le rayon vecteur avec l'axe magnétique.

Cela donne

$$C = H_o \varrho_o k r_o \sin \theta - \frac{M \sin^2 \theta}{r_o} - i \sqrt{A r_o \sin \theta}\, f(\varkappa)$$

Ici $i \geqq$ et le dernier terme $-i\sqrt{A r_o \sin \theta}\, f(\varkappa)$ n'est jamais positif.

Pour que C soit positif, il faut que k soit positif et que

$$H_o \varrho_o k r_o \sin \theta > \frac{M \sin^2 \theta}{r_o}$$

c'est-à-dire que

$$\sin \theta < \frac{H_o \varrho_o k r_o^2}{M}$$

Donc en y substituant les valeurs extrêmes

$$k = 1, \quad H_o \varrho_o = 10^6$$

avec

$$r_o = 6{,}5 . 10^8 \quad \text{et} \quad M = 8{,}52 . 10^{25}$$

on trouve

$$\sin \theta < 0{,}005$$

c'est-à-dire

$$\theta < 18'$$

ce qu'il y aura lieu d'écarter dans les applications.

On peut donc, dans les applications aux aurores boréales, considérer C *comme négatif.*

Pour restreindre davantage l'intervalle de variation de C il est d'abord nécessaire de faire une discussion détaillée des espaces dont les trajectoires ne peuvent sortir.

(A suivre)

LA SUSCEPTIBILITÉ INITIALE DU NICKEL
EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE
ET LA
Variation du point de transformation magnétique avec le champ

PAR

Démétrius RADOVANOVITCH

Lord Rayleigh[1] a montré que la susceptibilité initiale se conserve dans toutes les petites variations réversibles de l'aimantation produites par les variations du champ de petite amplitude, même lorsque l'aimantation a atteint une fraction notable de l'intensité à saturation. La théorie établie par M. P. Weiss[2] explique cette constance de la susceptibilité réversible. M. P. Weiss ajoute encore : « Cette constance per-« met d'en déduire une conséquence aisément vérifiable par « l'expérience. Cette susceptibilité initiale peut s'écrire :

$$k_0 = \frac{1}{3}\left(\frac{1}{N_1 - N_2} + \frac{1}{N_1 - N_3}\right)$$

« Dans cette formule N_1, N_2 et N_3 représentent les trois fac-« teurs principaux de l'aimantation pour trois axes d'un cristal « perpendiculaires entre eux. Elle est donc indépendante de la « température si les coefficients N_1, N_2 et N_3 sont eux-mêmes « indépendants de la température, comme nous l'avons supposé. « Les expériences sur la variation de la susceptibilité avec la « température[3] dans les champs faibles semblent pouvoir s'ac-

[1] Lord Rayleigh. *Phil. Mag.*, 1887, March, p. 225-245. — R. Gans. *Ann. der Physik.*, 1908, 27, p. 1 et 1909, 29, p. 301. — R. Gans. *Einführung in die Theorie des Magnetismus,* Leipzig 1908. — Dubois et Taylor. *Elektrotechn. Zeitschrift*, 1896, p. 543.

[2] P. Weiss. L'hypothèse du champ moléculaire et la propriété ferromagnétique. *J. de Phys.*, 1907, 4me série, t. VI, p. 661. — P. Weiss. *Phys. Zeitschrift,* 1908, p. 358-367.

[3] Ewing. *Induction in Iron.* 3th ed. London, p. 166. — P. Curie. *Ann. chim. phys.*, 1895, t. V, p. 289. — P. Curie. Oeuvres publ. par la Soc. franç. de phys., p. 232-334.

« corder avec cette conséquence de la théorie. En général, « elles donnent un accroissement relativement faible de la sus- « ceptibilité quand la température s'élève... La difficulté d'in- « terprétation de ces expériences ou d'autres analogues provient « du fait que vers les températures élevées, le domaine des « phénomènes devient très restreint ainsi que l'on peut s'en « rendre compte d'après certaines courbes établies par Hop- « kinson[1]. De nouvelles expériences déterminant exactement « ce domaine deviennent nécessaires. »

Cette citation de « l'hypothèse du champ moléculaire et la propriété ferromagnétique » a été le point de départ de ce travail[2], lequel a été exécuté sous la direction et d'après les conseils de M. P. Weiss, dans les laboratoires de l'Institut de physique de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich.

La détermination de la susceptibilité eut lieu, comme le fit Rowland[3], en étudiant un tore de nickel d'après la méthode balistique[4] connue.

Dans une tôle de nickel de 2 mm. d'épaisseur on découpa des anneaux d'environ 36 mm. de diamètre intérieur et d'environ 76 mm. de diamètre extérieur. 35 de ces anneaux, placés les uns sur les autres, servaient à former un tore d'environ 70 mm. de hauteur et de 14,369 cm² de section.

Une analyse chimique de ce nickel en a donné la composition suivante :

Nickel.	=	98,08 %	
Cobalt.	=	1,31	Environ 2 % d'impuretés
Fer	=	0,68	
Impuretés insolubles.	=	0,11	

Un fil de cuivre nu de 0,5 mm. de diamètre servit pour les enroulements du tore. Le circuit primaire se composait de

[1] Hopkinson. *Phil. Trans.*, 1889, A, p. 443. — *Prov. Roy. Soc.*, vol. XLIV 1888, p. 317. — Du Bois. *Phil. Mag.*, 1890, March.

[2] Travail présenté comme thèse de doctorat à la Faculté de philosophie (section des sciences) de l'Université de Zurich. Il a fait l'objet d'une publication dans la *Vierteljahrszeitschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, 1910, 55, p. 493.

[3] Rowland. *Phil. Mag.*, vol. XLVI, 1873, p. 151.

[4] Lord Kelvin. *Phil. Trans.*, vol. CLXVI, p. 693. — Ewing. *loc. cit.*

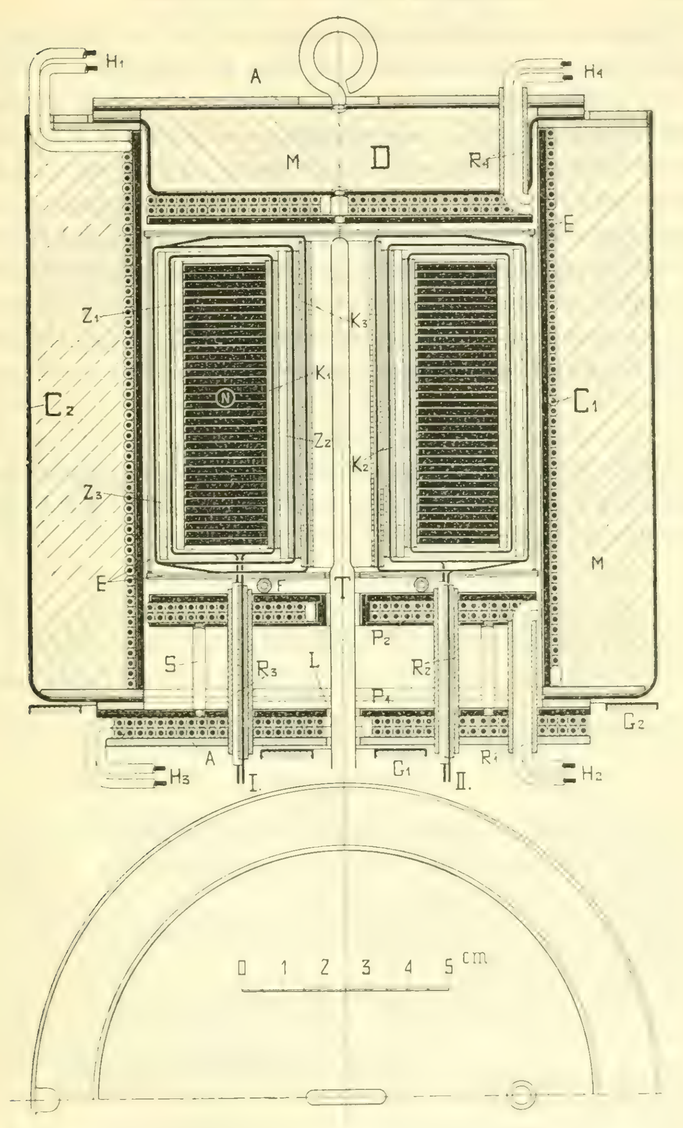


Fig. 1. — Four électrique, avec le tore de nickel bobiné (coupe verticale et plan). — C_1 Chemise métallique cylindrique de 2 mm. d'épaisseur. — P_1, P_2 Fonds. — D Couvercle. — H_1, H_4, H_3, H_4 Fils de nickel enroulés bifilairement pour le courant de chauffage. — G_1, G_2 Supports. — N Tore de nickel. — I, II Enroulement primaire, resp. secondaire. — T Thermomètre à résistance de platine. — R_1, R_2, R_3, R_4. F Tubes de porcelaine. — K_1, K_2 K_3 Tubes de verre. — Z_1, Z_2, Z_3 Cylindres de verre. — E Disques de mica. — A Disques d'amiante — M Magnésie

57 tours en une seule couche, tandis que le circuit induit, le secondaire avait 91 tours enroulés en deux couches [1].

Malgré les dimensions relativement grandes du four électrique, l'uniformité de la température à l'intérieur était très bonne. Pour mesurer cette température, on a utilisé un thermomètre à résistance de platine. Un pont de Wheatstone servait pour la détermination de la résistance de ce thermomètre.

La susceptibilité initiale se calcule comme suit, par l'intermédiaire des grandeurs suivantes:

La valeur moyenne du champ magnétique H_m en fonction de l'intensité i du courant dans le circuit primaire est:

$$H_m = \frac{2N_1}{r_2 - r_1} \, i \, \text{logn} \left(\frac{r_2}{r_1}\right) \qquad (1)$$

L'induction B dans le tore produite par H_m est mesurée par la déviation x du galvanomètre ballistique monté dans le circuit secondaire. Entre B et x on a la relation suivante:

$$B = \frac{F}{q \cdot N_2 \cdot a} \cdot x \qquad (2)$$

L'intensité d'aimantation I produite par B et H_m est:

$$I = \frac{B - H_m}{4\pi} \qquad (3)$$

La susceptibilité k résultant de I et H_m est:

$$k = \frac{I}{H_m} \qquad (4)$$

La susceptibilité initiale a se détermine finalement par extrapolation [2] en considérant le point d'intersection de la courbe $k = f(H_m)$ avec l'axe $H_m = o$.

Dans les susdites formules, les symboles employés ont les significations suivantes:

r_1, r_2, q = rayon intérieur, resp. extérieur et section du tore de nickel;

N_1, N_2 = nombre de tours de l'enroulement primaire, resp. secondaire du tore;

[1] De plus amples détails relatifs aux enroulements et au four électrique sont contenus dans la thèse originale. Ils sont aussi visibles par la figure 1.

[2] Lord Rayleigh. *Phil. Mag.*, 1887, March, p. 225-245. — C. Baur. *Wied. Ann.*, XI. 1880, p. 245 et 399. — Tomlinson. *Proc. Roy. Soc.*, 1889, Dec. 5.

F = Le flux de force magnétique produit par le solénoïde étalon et qui entre en considération lorsque la bobine du circuit induit est placée concentriquement sur le dit solénoïde ;

α = La déviation du galvanomètre correspondant à une variation du flux de force 2 F.

Le début des expériences a été troublé par différentes irrégularités. La susceptibilité initiale pour la température ordinaire par exemple, augmentait après chaque chauffage et chaque refroidissement. De même, les différentes valeurs de la susceptibilité augmentaient avec les différentes températures. De telles irrégularités semblent se produire avec toutes les substances ferromagnétiques[1]. Toutefois après des chauffages et des refroidissements répétés, la susceptibilité initiale pour la température ordinaire s'est rapprochée d'une valeur constante qui durant toute la suite des expériences est restée la même. Cette susceptibilité présentait alors un caractère de réversibilité. c'est-à-dire que pour une température déterminée, la courbe relevée pour la susceptibilité était la même que cette température ait été réalisée par un chauffage ou par un refroidissement. La courbe de la susceptibilité initiale est donc déterminée sans ambiguïté.

Les expériences ont été exécutées en tout pour 11 intensités de courant différentes, soit de 0,00102 à 0,01193 ampères et pour 21 températures différentes dans l'intervalle de 18,5 à 358° C. A partir de 359° C, les déviations du galvanomètre n'étaient que d'environ 2 mm., soit une valeur pour ainsi dire négligeable à côté des déviations observées pour de basses températures. Ces faibles déviations proviennent d'une part, de la très faible intensité d'aimantation du tore de nickel qui a passé à l'état paramagnétique. d'autre part, de l'induction provenant de l'enroulement primaire.

Les figures 2, 3 et 4, cette dernière figure donnant une vue

[1] Wiedemann. *Galvanismus* II, § 522. — Perrier. *Archives des Sc. phys. et nat.*, 1909, t. XXVII. — Ewing. *Phil. Trans.*, 1885, p. 633. — Osmond. *Mém. de l'artillerie de marine*, 1888. — Hopkinson. *Proc. Roy. Soc.*, Dec. 1889, Jan. 1890, May 1890. — H. F. Newall. *Phil. Mag.*, June 1883. — F. T. Tronton. *Rep. Brit. Assoc.*, 1889. — F. T. Tronton. *Roy.*, Dublin Soc. 1886.

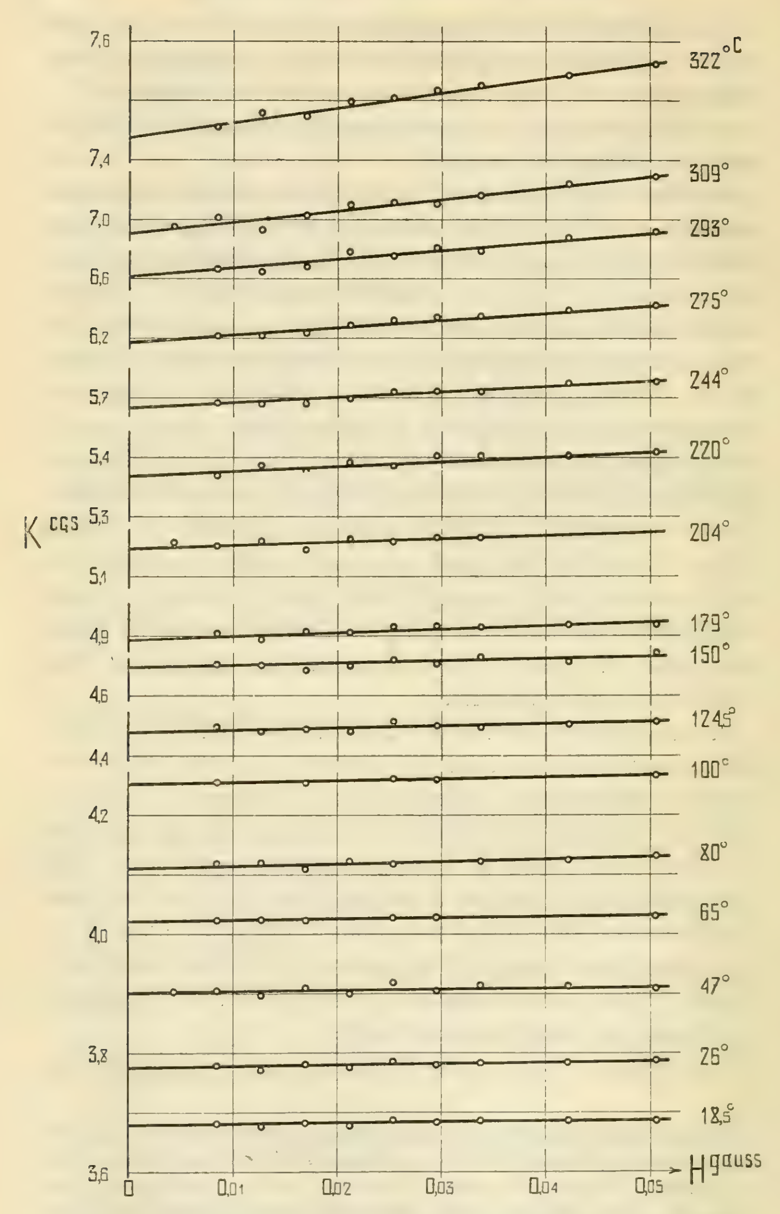


Fig. 2. — La susceptibilité k en fonction du champ magnétique H.

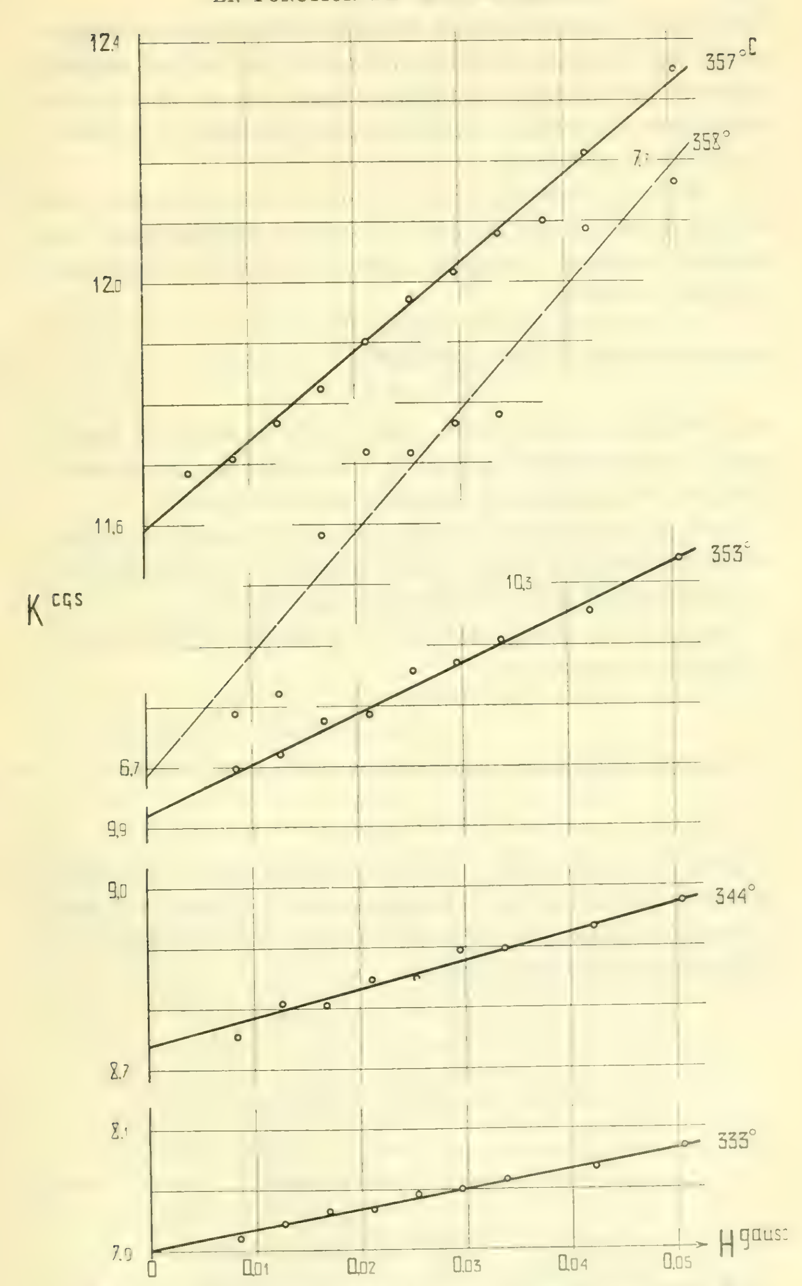


Fig. 3. — La susceptibilité k en fonction du champ magnétique H.

d'ensemble, représentent les différentes courbes de la susceptibilité en fonction de la température. Ces courbes ont un caractère parfaitement rectiligne. Disons tout de suite que les expériences n'ont été exécutées que dans la région où ce caractère linéaire est observé.

C. Baur et Lord Rayleigh[1] ont déjà trouvé que dans des champs de très faible intensité, l'intensité d'aimantation I en fonction du champ H avait un caractère parabolique défini par l'équation suivante :

$$I = a\,H + b\,H^2$$

ce qui donne pour la susceptibilité :

$$k = a + b\,H,$$

soit l'équation d'une droite. Dans cette équation, a représente la susceptibilité initiale et b le coefficient angulaire à l'origine de la tangente à la courbe de la susceptibilité.

Outre la susceptibilité initiale, la valeur du susdit coefficient angulaire, que nous nommerons simplement « *tangente initiale* » a été déterminée pour les différentes températures.

Supposons un champ magnétique homogène égal au champ magnétique moyen, on a :

$$H_m = \frac{2N_1 i}{(r_2 - r_1)} \operatorname{logn}\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \tag{1}$$

et l'on peut déterminer la valeur de la tangente initiale :

$$b' = \frac{k - a}{H_m}$$

d'après les figures 2 et 3, car elles donnent la valeur k de la susceptibilité en fonction du champ moyen H_m. Comme toutefois le champ magnétique n'est pas homogène, on déduit b de l'équation de l'induction B, soit :

$$B = (1 + 4\pi a)\,2N_1 i h \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} + 4\pi b h (2N_1 i)^2 \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2}$$

$$= (1 + 4\pi a)\,2N_1 i h \operatorname{logn}\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + 4\pi b h (2N_1 i)^2 \frac{r_2 - r_1}{r_1 . r_2}$$

d'où

$$b = \frac{B - (1 + 4\pi a)\,2N_1 i h \operatorname{logn}\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{4\pi h (2N_1 i)^2 \frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2}} \tag{5}$$

[1] C. Baur, Lord Rayleigh, Tomlinson et Ewing : *loc. cit.*

Pour le champ magnétique homogène H_m dont il vient d'être question on aurait d'une manière analogue :

$$b' = \frac{B - (1 + 4\pi a) 2 N_1 i h \log\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{4\pi h (2 N_1 i)^2 \frac{r_2 - r_1}{r_m^2}} \qquad (5')$$

où

$$r_m = \frac{r_2 - r_1}{\operatorname{logn}\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

représente le rayon de la force d'aimantation moyenne H_m.

Les deux valeurs b et b' ne diffèrent entre elles que par les facteurs

$$f = \frac{r_1 \cdot r_2}{r_2 - r_1} \quad \text{et} \quad f' = \frac{r_m^2}{r_2 - r_1}$$

d'où

$$f = f' \frac{r_1 r_2}{r_{m^2}} = f' \, 0{,}9553$$

ce qui fait que la véritable valeur de la tangente initiale b se déduit directement des valeurs b' que donnent les figures 2 et 3, en les multipliant par le facteur 0,9553. On a donc

$$b = b' \,.\, 0{,}9553 \qquad (6)$$

Le tableau suivant donne les différentes valeurs de a, b' et b en fonction de la température.

t°C	a C.G.S.	b'	b	t°C.	a C.G.S.	b'	b	t°C.	a C.G.S.	b'	b
18,5	3,681	0,161	0,154	150,0	4,646	0,411	0,393	309,0	6,975	1,994	1,905
26,0	3,778	0,166	0,158	179,0	4,897	0,526	0,502	322,0	7,438	2,515	2,402
47,0	3,904	0,196	0,187	204,0	5,140	0,622	0,594	333,0	7,899	3,238	3,093
65,0	4,018	0,219	0,209	220,0	5,374	0,741	0,708	344,0	8,735	4,756	4,543
80,0	4,111	0,247	0,236	244,0	5,683	0,901	0,861	353,0	9,908	8,416	8,040
100,0	4,256	0,285	0,272	275,0	6,196	1,271	1,214	357,0	11,652	15,230	14,548
124,5	4,442	0,338	0,323	293,0	6,597	1,582	1,511	358,0	6,685	20,081	19,183

Les figures 2, 3 et 4 qui représentent les susceptibilités k en fonction du champ magnétique pour différentes températures, montrent que tant la susceptibilité initiale que l'inclinaison des droites représentatives, augmentent avec la température. La figure 4 montre la position exacte des courbes de susceptibilité l'une par rapport à l'autre.

La fig. 5 montre la relation qui existe d'une part entre la valeur de la susceptibilité initiale et la température et, d'autre part,

entre celle de la tangente initiale et la température. Jusqu'à 357° C la marche des deux courbes est continue. A 358° C toutefois, on remarque une discontinuité. Tandis que la tangente initiale *b* continue à augmenter d'une manière régulière, la valeur de *a* tombe brusquement à la valeur de 6,685 C. G. S. (voir fig. 3 et 4). Ewing[1] déjà a remarqué de telles discontinuités dans des courbes représentatives de la perméabilité d'aciers et de fers. La courbe représentative de la susceptibilité initiale semble dans ces conditions avoir une pointe dans les environs de 357° C pour descendre brusquement jusqu'à une valeur très faible dans le voisinage du point de transformation magnétique, soit près de 359° C. En refroidissant, on observait le phénomène inverse : Les valeurs augmentent subitement pour diminuer ensuite suivant la même courbe que celle dont il vient d'être question. On en tire la conséquence que dans le voisinage du point de transformation[2] aussi les courbes données sont réversibles.

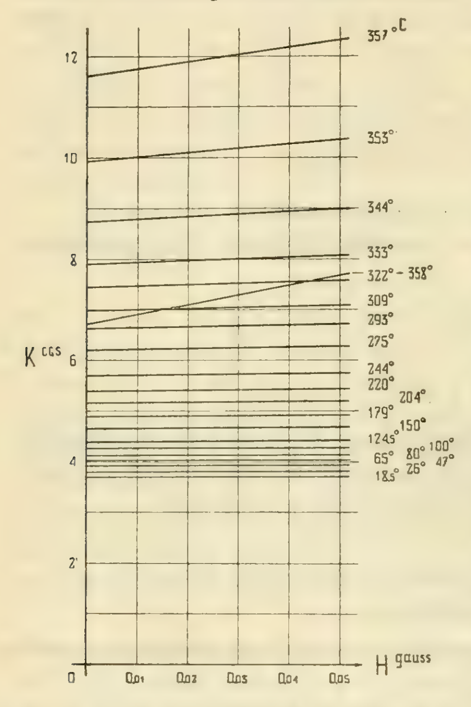


Fig. 4. — La susceptibilité *k* en fonction du champ magnétique H.

[1] Ewing. ***Magn. Ind. in Iron.***, 3me éd., ch. VIII, p. 172-175, Londres.

[2] Définition du point de transformation : Si pour un champ magnétique donné on porte en fonction de la température les valeurs du carré de l'intensité d'aimantation I^2 en ordonnée, on obtient une courbe qui dans une région relativement grande avant la perte des fortes propriétés magnétiques, peut être assimilée à une droite. Dans la région suivante,

On peut admettre que a ainsi que b continuent à augmenter et que les deux courbes ne descendent à de petites valeurs qu'au moment de la transformation.

Il est toutefois possible que la décroissance de la susceptibilité initiale un peu avant le point de transformation soit due au fait qu'une partie du tore de nickel a déjà atteint la température de transformation tandis que l'autre partie est un peu plus froide. De telles variations de température sont en effet très possibles et inévitables dans un four des dimensions de celui qui était employé ; elles ont naturellement une très grande influence sur l'état du nickel lorsqu'on se trouve dans le voisinage du point de transformation. L'incertitude des points de la courbe de susceptibilité à 358° C provient sans doute de cette même circonstance.

Ainsi que l'on peut s'en rendre compte par la figure 5, il existe une relation exponentielle entre la valeur de la susceptibilité initiale a et la valeur de la tangente initiale b, et cela suivant l'équation :

$$b = \frac{a^4}{1225} \qquad \text{(I)}$$

Les expériences dont il vient d'être question donnent en conséquence les résultats suivants :

Au-dessous du point de transformation, la susceptibilité initiale et la tangente initiale des courbes de la susceptibilité en fonction du champ magnétique $k = f(H)$ augmentent avec la température pour le nickel.

Pour chaque température comprise dans le domaine des expériences, la valeur de la tangente initiale de la courbe $k = f(H)$ est proportionnelle à la 4me puissance de la susceptibilité initiale (I).

Un autre résultat est que *le point de transformation* du nickel ayant fait l'objet de ces études *est sensiblement plus bas* (10° à 15° C) que cela n'a été constaté jusqu'à maintenant par diffé-

le corps est à l'état paramagnétique. L'intensité d'aimantation dans cette région est très faible mais n'est pas nulle. On définira comme point de transformation le point où la prolongation de la partie rectiligne de la courbe $I^2 = f(t)$ vient couper l'axe des t (fig. 8).

rentes séries de travaux dans les mêmes laboratoires avec des échantillons de nickel de même provenance[1].

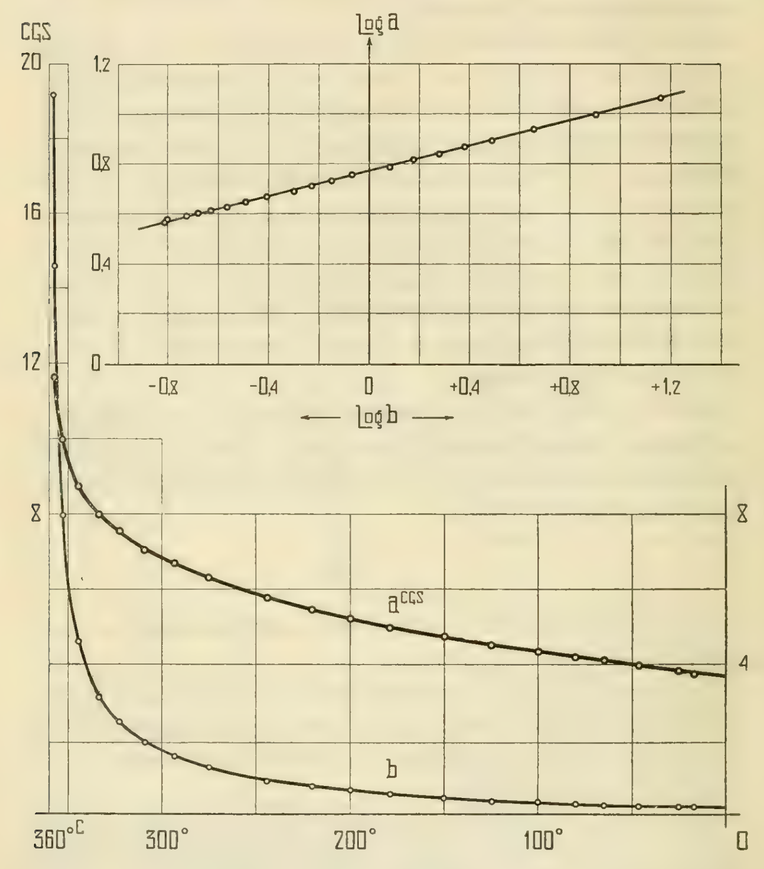


Fig. 5. — La susceptibilité initiale *a* et la tangente initiale *b* des courbes de susceptibilité $k = f(H)$ en fonction de la température. — Relation exponentielle entre ces deux fonctions.

Comme toutefois ces derniers travaux ont toujours été exécutés dans des champs magnétiques très élevés, de plusieurs milliers de gauss, alors que ces expériences-ci ont eu lieu dans

[1] Hopkinson a toutefois constaté une température encore plus basse du point de transformation (environ 310° C), mais sur des échantillons de nickel très impurs. *Proc. Roy. Soc.*, vol. XLIV, 1888, p. 317. — Du Bois : *Phil. Mag.*, 1890, Avril. — Morris : *Phil. Mag.*, 1897, Sept.

des champs très faibles, ne dépassant pas 0,0043 gauss, on est porté à en déduire que la température du point de transformation dépend de l'intensité du champ magnétique.

De nouvelles séries d'expériences ont alors été exécutées pour éclaircir ce dernier point.

Dans le même nickel que celui qui avait servi aux différentes expériences précédentes, on a tourné un petit ellipsoïde de révolution [1] (grand axe : 7,5 mm., petit axe : 2 mm.). On place cet ellipsoïde dans le champ horizontal d'un électroaimant de manière qu'une rotation autour d'un axe vertical soit possible.

La méthode [2] consiste à mesurer la valeur du couple exercé sur l'ellipsoïde par le champ magnétique horizontal extérieur H. On démontre en effet que la valeur maximum de ce couple est directement proportionnelle au carré de l'intensité d'aimantation de l'ellipsoïde. Ajoutons pourtant tout de suite puisque nous nous proposons d'expérimenter dans des champs très faibles que la dite méthode n'est rigoureuse que lorsque l'échantillon étudié est magnétiquement saturé. Puisque les champs sont très faibles, la saturation ne sera réalisée que dans le voisinage immédiat du point de transformation ce qui fait que les courbes I et I^2 de la figure 7 ne doivent être considérées comme rigoureusement exactes que dans le voisinage du point de transformation [3]. Ces courbes donnent toutefois une très bonne approximation de l'allure de la courbe I en fonction de la température. A titre de comparaison de l'allure de ces différentes courbes, celle des I en fonction de la température a été relevée par la méthode ballistique avec le tore de nickel ayant servi aux expériences précédentes, dans un champ magnétique H de 4. C. G. S. (voir au bas de la figure 7). Cette dernière courbe est rigoureusement exacte dans toute son étendue.

[1] Maxwell : *Electricy*, vol. II, §§ 437-438. — Ewing : *loc. cit.*

[2] P. Weiss : *J. de phys.*, 1907, t. VI., 4me sér., p. 665. — *Phys. Zeitschrift*, 1908. 9. Jahrgang, S. 359. — Langevin. *Ann. chim. phys.*, 1905, t. V, 8me sér. — W. Voigt. *Ann. d. Physik*, 1902, 9. — J. J. Thomson. *Phil. Mag.*, 1903, t. VI.

[3] F. Hegg. *Arch. des Sc. phys. et nat.*, 1910, t. XXVIII. — Thèse, Zurich 1910.

Le champ magnétique dans lequel était placé le petit ellipsoïde, était produit par un électro-aimant représenté par la

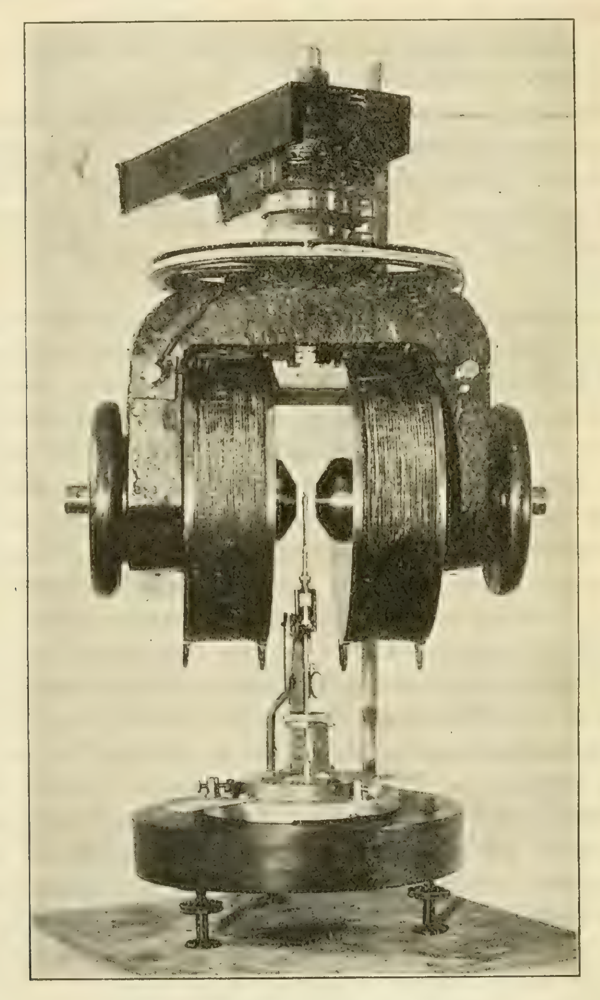


Fig. 6. — Electro-aimant et appareil pour la mesure de l'intensité d'aimantation, sans le four électrique.

figure 6 [1]. Dans la même figure, on remarque encore une représentation de l'appareil ayant servi à mesurer l'intensité

[1] P. Weiss, *Arch. des Sc. phys. et nat.*, 1908, t. XXVI, p. 105. — Voir de plus amples détails sur cet aimant dans la *Schweiz. Banzeitung*, B. 53 1909, S. 240.

d'aimantation de l'ellipsoïde [1]. L'axe vertical de cet appareil coïncide avec l'axe de rotation de l'électro-aimant. Il est encore muni d'un petit dispositif amortisseur formé par deux ailettes en aluminium plongeant dans un bain de pétrole (ce dispositif n'est pas indiqué sur la fig. 6).

Les différentes températures furent réalisées au moyen d'un four [2] à l'intérieur duquel venait se placer l'ellipsoïde. Il était formé par une chemise cylindrique en tôle d'argent autour de laquelle était enroulé un fil nu de platine. La mesure de la température s'effectuait au moyen d'un couple thermo-électrique [3] dont les deux fils étaient isolés entre eux par deux tubes capillaires en verre dur. Il était fixé à la carcasse du four de manière que sa soudure se trouvait dans le voisinage immédiat de l'ellipsoïde.

Les expériences eurent lieu en tout pour cinq valeurs différentes du champ magnétique H et comprises en 6500 et 25 gauss. Pour un champ magnétique extérieur maintenu constant, on mesurait aux différentes températures dans le voisinage du point de transformation les déviations maxima produites par le couple.

A l'exception des mesures faites pour un champ magnétique H = 4 gauss (fig. 7), aucune ne sont absolues et l'échelle des I est par conséquent arbitraire.

Dans *les champs élevés* compris dans l'intervalle de 6500 à 3500 gauss, on obtient jusqu'à 200° C des mêmes valeurs pour l'intensité d'aimantation (voir figure 9), ce qui prouve que le nickel est déjà complètement saturé à 3500 gauss pour ces températures. Au-dessus de 200° C, on remarque pour une température donnée une différence entre l'intensité d'aimantation

[1] F. G. Bailly. *Phil. Trans.*, 1896, t. CLXXXII, p. 715. — F. G. Bailly. *Electrician*, 1894, t. XXXIII, p. 516. — P. Weiss et V. Planer. *J. de phys.*, 1908, t. VII, 4me sér., p. 5. — A. Perrier. *Arch. des Sc. phys. et nat.*, 1909, t. XXVII.

[2] P. Curie. Thèse, mars 1905, Gauthier Villars. — P. Curie. Oeuvres publ. par la Soc. franç. de phys. — Weiss et Beck. *J. de phys.*, 1908, 4me sér., t. VII, p. 5. — A. Dumas. Thèse, Zurich, 1908. — A. Perrier. Thèse, Zurich, 1909. — F. Hegg. Thèse, Zurich, 1910.

[3] Le Chatelier et Bondonard. *Mesure des températures élevées*, 1900.

correspondant à deux champs différents. Elle est plus grande pour 6500 gauss que pour 3500 gauss. Ceci montre que le fait d'opérer dans un champ magnétique plus élevé que celui qui correspond à la saturation n'a pas d'influence sur l'intensité d'aimantation dans les basses températures, mais bien dans les températures voisines du point de transformation. *Dans les champs faibles*, ainsi du reste que la remarque en a été faite à la page 251, la courbe de l'intensité d'aimantation n'est rigoureusement exacte que dans le voisinage du point de transformation.

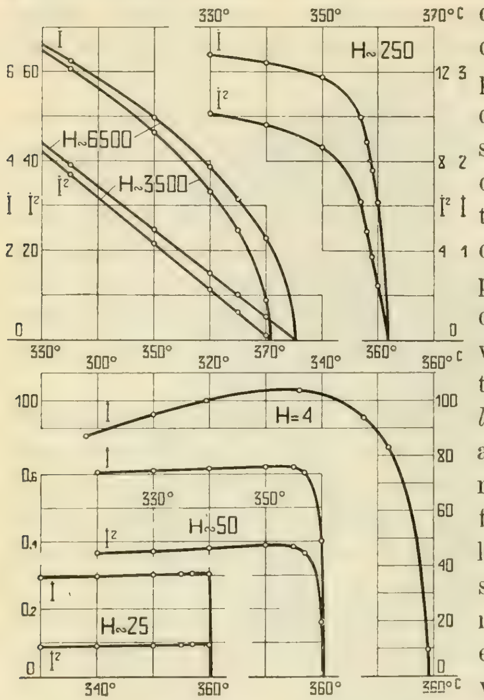


Fig. 7. — L'intensité d'aimantation I et son carré I^2 en fonction de la température pour différents champs magnétiques dans le voisinage du point de transformation.

D'après la figure 7 qui donne une représentation des valeurs I^2 et I en fonction de la température, on remarque que la température du point de transformation diminue avec le champ magnétique. Les relations entre cette température et les différents champs sont contenues dans le tableau ci-dessous.

H Gauss	θ° C.	H Gauss	θ° C.
6500	375,0	25	>360,0
3500	371,0	4	359,5
250	362,0	0,0	359,0
50	360,5		

Dans la figure 8 on a porté la température du point de

transformation en fonction du champ magnétique. On remarquera le caractère parabolique de cette courbe représentative,

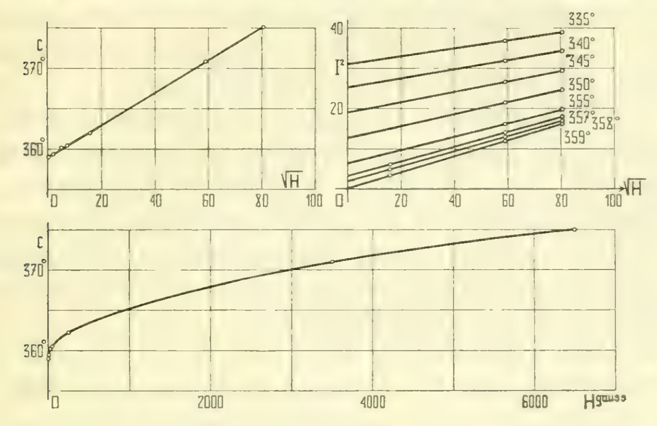


Fig. 8. — Relation entre la température du point de transformation θ et le champ magnétique H (en bas et en haut à gauche). – Détermination de l'intensité d'aimantation I pour un champ magnétique extérieur nul, H = *o*, pour différentes températures dans le voisinage du point de transformation (en haut à droite).

spécialement la figure 8 (en haut à gauche) montre le caractère nettement linéaire de la fonction $\theta = f(\sqrt{H})$, θ représentant la température du point de transformation. Le point où cette droite coupe l'axe $\sqrt{H} = o$ détermine le sommet de la parabole et fixe ainsi que l'on s'en rend compte à 359° C la température du point de transformation pour un champ magnétique extérieur supposé nul.

D'après ces figures on déduit :

$$\theta° \text{ C.} = 359° + 0{,}198_4 \sqrt{H} \qquad \text{(II)}$$

Dans son mémoire « L'hypothèse du champ moléculaire et la propriété ferromagnétique » M. P. Weiss expose que pour un champ extérieur H = *o*, l'intensité d'aimantation a une valeur finie, produite par le champ moléculaire et que celle-ci ne peut être autre chose que l'intensité de saturation que l'on constate à la température de l'observation. Afin de déterminer cette intensité de saturation en fonction de la température, il est nécessaire d'opérer avec des champs très élevés car sans cela l'intensité d'aimantation ne serait pas parallèle dans tous les moindres éléments constituant le corps étudié. La température

du point de transformation qui se déterminera de cette manière *ne correspondra pas* à la température de perte du ferromagnétisme spontané pour un champ extérieur nul, $H = o$, car les expériences précédentes ont montré que la température du point de transformation diminue avec le champ.

Dans ce qui précède (p. 331) on a donné la relation qui lie la température du point de transformation au champ magnétique. On en peut donc déterminer la température correspondant à un champ extérieur nul. Il ne s'agit maintenant plus que de déterminer la véritable courbe d'aimantation en fonction de la température dans le voisinage du point de transformation magnétique pour un champ extérieur nul.

La courbe représentative de la fonction $I = f(t)$ pour un champ extérieur nul, $H = o$, coïncidera dans les faibles températures avec les courbes considérées comme exactes jusqu'à maintenant. Elle s'en sépare dans les températures élevées, voisines du point de transformation pour venir alors couper l'axe des températures au véritable point de transformation.

Pour le tracé de la véritable courbe d'intensité d'aimantation à saturation, des données de M. P. Weiss provenant d'expériences non encore publiées ont été utilisées. Il existerait une relation empirique entre I et H, d'après laquelle pour une température constante, voisine de celle du point de transformation magnétique, le carré de l'intensité d'aimantation I^2 serait proportionnel avec la racine carrée du champ magnétique $\sqrt{H}$.

On a donc construit les droites I^2 en fonction de $\sqrt{H}$ et par extrapolation, le point d'intersection de chacune de ces droites avec l'axe $\sqrt{H} = o$, on a déterminé l'intensité d'aimantation cherchée (voir fig. 8 en haut, à droite). Pour une température de 359° C, la droite représentative passe par l'origine des coordonnées ce qui confirme la valeur donnée auparavant pour la température du point de transformation, le champ extérieur supposé nul, $H = o$.

Puisque les courbes représentatives de l'intensité d'aimantation en fonction de la température ont un caractère parabolique dans le voisinage du point de transformation, les courbes représentatives de I^2 en fonction de la même variable ont un

caractère linéaire. La proportionalité de I^2 avec $\sqrt{H}$ pour commencer sera réalisée dans toute la région ou I^2 en fonction de la température sera représenté par une droite[1]. Ces parties rectilignes indiquent toutefois une légère convergence lorsque la température diminue (voir fig. 7). Les deux phénomènes suivants peuvent donc en somme se justifier mutuellement, à savoir : la proportionalité de I^2 avec $\sqrt{H}$ pour différentes températures dans le voisinage du point de transformation et la relation linéaire entre la température θ du point de transformation avec la racine carrée du champ magnétique $\sqrt{H}$.

Les valeurs de I^2 pour différentes températures et pour $\sqrt{H} = o$ obtenues par extrapolation (fig. 8 en haut à droite) permettent

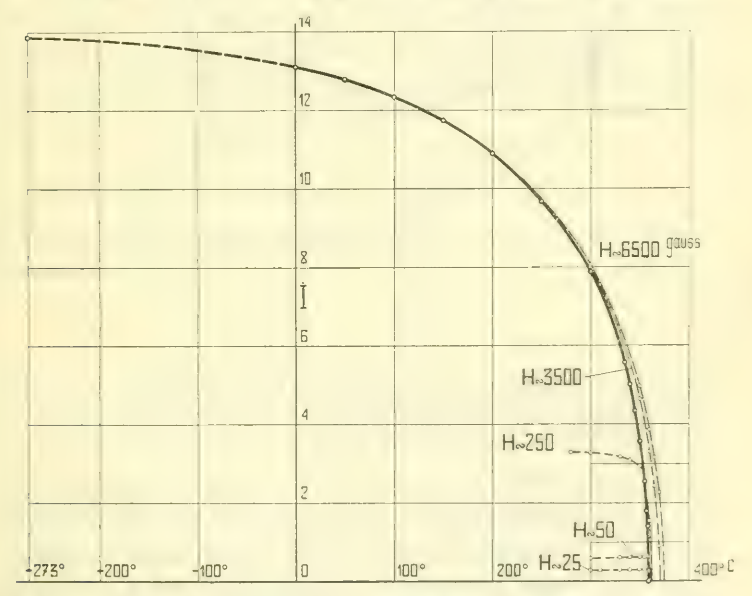


Fig. 9. — L'intensité d'aimantation I en fonction de la température pour un champ magnétique extérieur nul. (Véritable courbe de l'intensité d'aimantation à saturation.)

de déterminer les valeurs cherchées I pour un champ magnétique extérieur nul. Portées en fonction de la température, elles

[1] Ceci ne peut être le cas que pour des champs suffisamment élevés dans lesquels on obtient une portion de droite d'une longueur suffisante pour être utilisable.

donnent la vraie courbe de l'intensité d'aimantation pour un champ extérieur nul, H = *o* (voir figure 9).

On a encore porté en fonction de l'intensité d'aimantation I[1] pour un champ extérieur nul, H = *o*, la susceptibilité initiale *a* et la tangenteinitiale *b*. La figure 10 donne ces relations. On

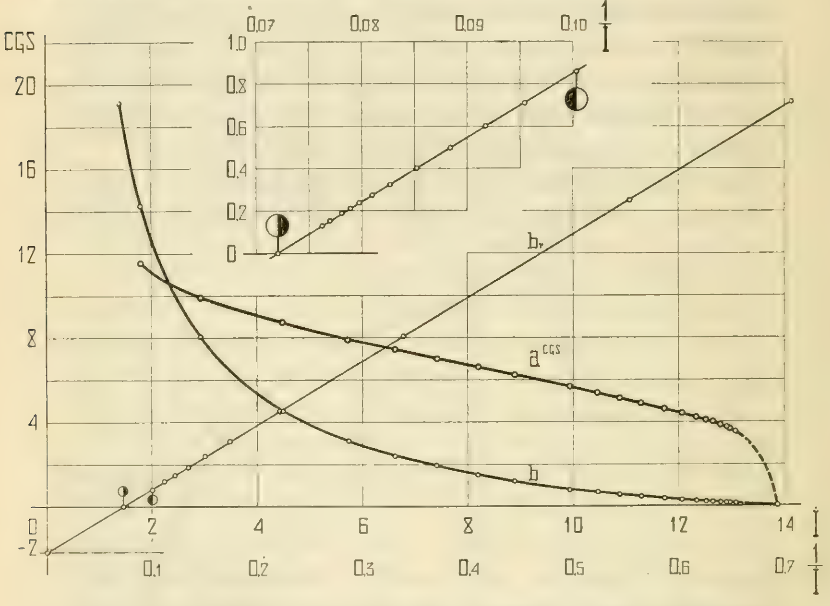


Fig. 10. — La susceptibilité initiale *a* et la tangente initiale *b* des courbes de susceptibilité $k = f(H)$ en fonction de l'intensité d'aimantation I. — Relation hyperbolique entre *b* et I.

remarquera la relation simple liant la tangente initiale *b* avec l'intensité d'aimantation I : c'est une relation hyperbolique. L'axe I = *o* coïncide avec l'une des asymptotes de l'hyperbole, tandis que l'autre asymptote est parallèle à l'axe *b* = *o* et passe par l'ordonnée *b* = —2,18. Afin de montrer clairement cette relation hyberbolique, on a construit sur la même figure la courbe $b = f\left(\frac{1}{I}\right)$, dont le caractère linéaire est évident. On en déduit

$$(b + 2{,}18)\, I = 30{,}214 \qquad \text{(III)}$$

ou

$$b = 30{,}214 \, \frac{1}{I} - 2{,}18 \qquad \text{(III}a\text{)}$$

[1] I en unités arbitraires.

La droite b_r coupe l'axe $b = o$ à une abscisse $\frac{1}{\mathrm{I}} = 0{,}07215$; on en déduit que la tangente initiale est nulle pour une intensité d'aimantation égale à 13,860[1]. Puisque la susceptibilité initiale a est liée à b par l'équation

$$b = \frac{a^4}{1225} \qquad \text{(I)}$$

on en déduit que a sera nul aussi pour cette même valeur de I.

On est porté d'admettre que 13,860 est l'intensité d'aimantation au zéro absolu de température. Dans la figure 9 cette valeur de l'aimantation a en effet été portée pour la température de —273° C. Elle correspond à une marche régulière de la courbe $\mathrm{I} = f(t)$. MM. P. Weiss et Kamerlingh Onnes[2] pour du nickel pur ont trouvé le rapport suivant entre les intensités d'aimantation à 17° C et 20° absolus :

$$\frac{\mathrm{I}_{17^\circ \mathrm{C}}}{\mathrm{I}_{20^\circ \mathrm{abs.}}} = \frac{1}{1{,}0548}$$

D'après notre figure 9 représentant la courbe $\mathrm{I} = f(t)$ on trouve :

$$\frac{\mathrm{I}_{17^\circ \mathrm{C}}}{\mathrm{I}_{20^\circ \mathrm{abs.}}} = \frac{1}{1{,}0634}$$

valeur qui correspond jusqu'à environ 8,1 ‰ avec celle déterminée par MM. P. Weiss et Kamerlingh Onnes. Etant donné la provenance différente des deux échantillons ayant servi aux expériences ainsi que la différence des méthodes, cette exactitude entre ces deux résultats doit être considérée comme très suffisante. $\mathrm{I}_o = 13{,}860$ représente par conséquent vraiment l'intensité d'aimantation au zéro absolu pour laquelle la susceptibilité initiale ainsi que la tangente initiale s'annulent.

Ces deux valeurs augmentent lorsque l'intensité d'aimantation diminue ; elles présentent un caractère analogue à celui de la figure 5. La discontinuité à 358° C dont il a été question à la page 324 pour la susceptibilité initiale se produit encore pour l'aimantation I = 1,415 correspondant à cette température. A

[1] I en unités arbitraires.

[2] *Acad. Amsterdam*, Février 1910.

cause de la relation donnée précédemment entre les valeurs a et b de la courbe de susceptibilité $k = f(\mathrm{H})$, a continuera aussi à augmenter ainsi que b et ces deux valeurs ne diminueront qu'à partir du point de transformation ($\mathrm{I} = o$).

Les expériences avec l'ellipsoïde de nickel ont conduit aux résultats suivants :

Le déplacement de la température du point de transformation du nickel étudié est proportionnel à la racine carrée du champ magnétique (II).

Tant la susceptibilité initiale que la tangente initiale des courbes de susceptibilité en fonction du champ ne s'annulent que pour le zéro absolu de la température.

La tangente initiale aux courbes de susceptibilité $k = f(H)$, d'après ce qui précède est, à une constante soustractive près, proportionnelle à l'inverse de l'intensité d'aimantation (III).

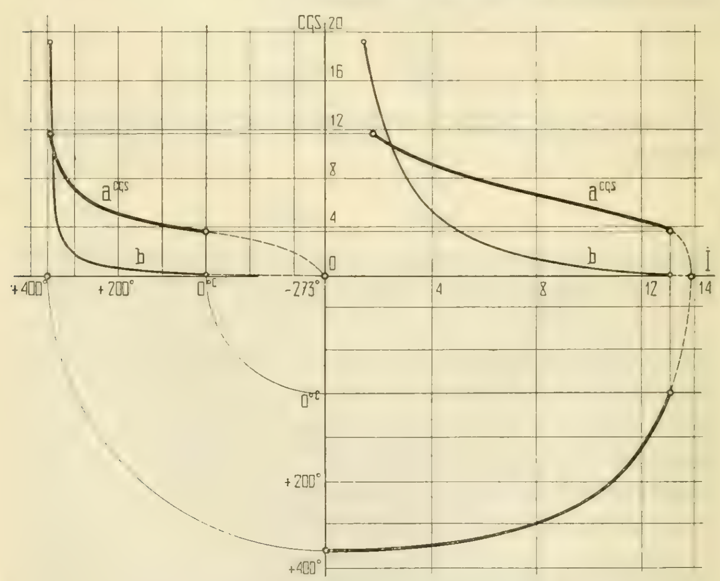


Fig. 11. — Relation entre la susceptibilité initiale a et la tangente initiale b des courbes de susceptibilité $k = f(\mathrm{H})$ avec la température et l'intensité d'aimantation I.

La relation entre la susceptibilité initiale et l'intensité d'aimantation se calcule sans difficultés d'une part de la relation

(I) entre la susceptibilité initiale et la tangente initiale et d'autre part de la relation (III) entre la tangente initiale et l'intensité d'aimantation. On trouve en effet :

$$a = \sqrt[4]{1225 - 2{,}18 \sqrt[4]{\frac{I_0}{I} - 1}} \qquad \text{(IV)}$$

où 1225 est la constante de l'équation (I) (p. 325), 2,18 la constante de l'équation (III) (p. 334) et I_0 l'intensité d'aimantation pour le zéro absolu. Cela donne :

$$a = 7{,}188 \sqrt[4]{\frac{I_0}{I} - 1} \qquad \text{(IV}a\text{)}$$

La figure 11 donne enfin une relation générale entre les valeurs *a, b,* I et *t.*

SUR

UN NOUVEAU MODE DE FORMATION

DES

BASES ISOQUINOLIQUES TÉTRAHYDROGÉNÉES

PAR

Amé PICTET et Théodore SPENGLER

On sait par les travaux déjà anciens de *Bischler* et *Napieralski*[1], ainsi que par ceux que l'un de nous a publiés plus récemment avec la collaboration de Mlle *M. Finkelstein* et de MM. *A. Gams* et *F. W. Kay*[2], que la condensation des phényléthylamines avec les acides organiques donne naissance aux *isoquinolines* ou aux *dihydro-isoquinolines* :

$$C_6H_4\begin{matrix} CH_2 \\ CH_2 \\ NH_2 \end{matrix} + R.COOH = C_6H_4\begin{matrix} CH_2 \\ CH_2 \\ N \\ CR \end{matrix} + 2H_2O$$

$$C_6H_4\begin{matrix} CHOH \\ CH_2 \\ NH_2 \end{matrix} + R.COOH = C_6H_4\begin{matrix} CH \\ CH \\ N \\ CR \end{matrix} + 3H_2O$$

Il nous a paru intéressant de rechercher si, en remplaçant dans cette réaction les acides par leurs *aldéhydes*, on obtiendrait les *tétrahydro-isoquinolines :*

$$C_6H_4\begin{matrix} CH_2 \\ CH_2 \\ NH_2 \end{matrix} + R.CHO = C_6H_4\begin{matrix} CH_2 \\ CH_2 \\ NH \\ CHR \end{matrix} + H_2O$$

[1] *Berichte* **26**. 1903.

[2] *Archives* (4) **29**. 245; **30**. 476. — *Berichte* **32**. 1973; **33**. 2384.

Nous avons fait un premier essai dans ce sens avec l'aldéhyde la plus simple, la *formaldéhyde;* nous n'avons cependant pas pris celle-ci comme telle, mais sous la forme d'un mélange de *méthylal* avec un acide minéral, mélange qui constitue, comme on le sait, une source de formaldéhyde (ou de glycol méthylénique) :

$$CH_2(OCH_3)_2 + 2H_2O = 2CH_3OH + CH_2(OH)_2$$
$$CH_2(OH)_2 = H_2O + CH_2O$$

5 gr. de phényléthylamine ont été dissous dans environ 30 cm³ d'acide chlorhydrique concentré ; à cette solution on a ajouté peu à peu 5 gr. de méthylal, en chauffant pendant 5-6 heures au bain-marie. La liqueur, évaporée ensuite à siccité, a laissé comme résidu un mélange de chlorhydrates dont, après traitement convenable par le nitrite de soude, nous avons pu retirer 2 gr. d'une base secondaire, liquide, bouillant à 229-230° et possédant la formule $C_9H_{11}N$.

	Trouvé	*Calculé pour $C_9H_{11}N$* [1]
C	81,05	81,20
H	8,40	8,27

L'étude de cette base et de ses sels nous a montré son identité avec la *tétrahydro-isoquinoline* obtenue par réduction de l'isoquinoline du goudron. Sa formation par condensation de la phényléthylamine et du méthylal a donc eu lieu, selon nos prévisions, comme suit :

$$C_6H_5\text{—}CH_2\text{—}CH_2\text{—}NH_2 + CH_2O = C_6H_4\langle{}^{CH_2-CH_2}_{CH_2-NH}\rangle + H_2O$$

Il est probable que d'autres aldéhydes donneront de même, avec la phényléthylamine, des tétrahydro-isoquinolines substituées dans la position 1. Avant de chercher à vérifier expérimentalement cette supposition, nous avons cependant préféré étendre cette réaction dans un autre sens et faire agir le méthylal sur des phényléthylamines *substituées*. Pour des raisons qui seront indiquées plus loin, nous avons choisi tout d'abord deux dérivés *carboxylés* de la phényléthylamine, la *phénylalanine* et la *tyrosine*.

[1] Pour le détail des analyses, voir *Berichte* **44**. 2030.

Traitée dans les mêmes conditions par le méthylal, la *phénylalanine* nous a fourni un acide qui, isolé par l'intermédiaire de son sel de cuivre et purifié par cristallisation dans l'alcool étendu, forme de belles tables nacrées, fusibles à 311° en se décomposant. Rendement 40 %. L'analyse conduit à la formule $C_{10}H_{11}NO_2$.

	Trouvé	*Calculé pour* $C_{10}H_{11}NO_2$
C	67,74	67,80
H	6,43	6,21

Chauffé au-dessus de son point de fusion, cet acide se décompose en anhydride carbonique et tétrahydro-isoquinoline. C'est donc l'*acide tétrahydro-isoquinoline-3-carbonique* et sa formation est due à une réaction identique à la précédente :

CH_2 — $CH.COOH$ — NH_2 + CH_2O = CH_2 — $CH.COOH$ — NH — CH_2 + H_2O

Phénylalanine — Acide tétrahydro-isoquinoline-3-carbonique

De même la *tyrosine* nous a donné un acide presque insoluble dans tous les dissolvants, fusible à 336—338° en se décomposant, très facilement oxydable à l'air et possédant la formule $C_{10}H_{11}NO_3$.

	Trouvé	*Calculé pour* $C_{10}H_{11}NO_3$
C	62,00	62,18
H	5,31	5,70

Ici le rendement est meilleur encore que dans les deux cas précédents : à partir de 2 gr. de tyrosine nous avons obtenu 1,5 gr. d'acide. Celui-ci se décompose lorsqu'on le chauffe au-dessus de son point de fusion ; le résidu est une huile très oxydable, bouillant à 210—220° sous la pression de 18 mm., et possédant à la fois les propriétés d'une base secondaire et d'un phénol ; distillée sur la poudre de zinc elle fournit de l'isoquinoline ; elle constitue donc la *7-oxy-tétrahydro-isoquinoline,* et l'acide dont elle dérive l'acide *7-oxy-tétrahydro-isoquinoline-3-carbonique.* Ce dernier s'est formé selon l'équation suivante :

CH_2 / CH.COOH / HO / NH_2 + CH_2O = CH_2 / CH.COOH / HO / NH / CH_2 + H_2O

Tyrosine — Acide oxy-tétrahydro-isoquinoline-carbonique

Ces trois exemples suffisent. nous semble-t-il, à démontrer que la condensation des phényléthylamines avec le méthylal est une réaction générale, au moyen de laquelle on pourra facilement préparer de nombreux dérivés de la tétrahydro-isoquinoline. Elle nous paraît présenter, en outre, de l'intérêt au point de vue de la genèse de certains alcaloïdes dans les plantes.

Il y a quelques années, l'un de nous[1] a émis l'opinion que les alcaloïdes végétaux doivent être, dans leur ensemble, considérés comme des résidus de la désagrégation des principes azotés plus compliqués qui se trouvent dans les plantes, et en tout premier lieu des albumines: on doit cependant admettre que, dans la plupart des cas, les produits primordiaux de cette désagrégation (que l'on pourrait appeler les *proto-alcaloïdes)* ne subsistent pas comme tels dans les tissus, mais qu'ils y subissent des modifications ultérieures et variées (méthylations, condensations, etc.) qui compliquent leur molécule et les rendent probablement moins toxiques pour la plante. moins solubles ou plus facilement diffusibles. Les produits finaux de ces modifications seraient les alcaloïdes proprement dits. Parmi les substances très variées qui se trouvent dans les plantes à côté des proto-alcaloïdes et qui, en réagissant avec eux, contribuent à ces modifications, il convient de placer en première ligne l'*aldéhyde formique*, qui prend continuellement naissance dans les feuilles. C'est cette aldéhyde qui semble être l'agent méthylant de la plante; il y a tout lieu de croire qu'elle y joue d'autres rôles importants.

Ceci posé. il devient probable, d'après les expériences que nous venons de relater, que les alcaloïdes isoquinoliques (et en particulier ceux de l'opium) doivent leur formation dans la plante à une réaction toute semblable à celle que nous avons

[1] *Archives* (4) **19**. 329.

réalisée *in vitro*. La phénylalanine et la tyrosine sont des produits constants de l'hydrolyse des albumines; on les trouve du reste dans beaucoup de végétaux. Mais elles n'y subsistent pas nécessairement; en présence de l'aldéhyde formique elles doivent dans certains cas se condenser avec elle, en donnant d'abord des composés isoquinoliques relativement simples, tels que ceux que nous avons préparés. Puis, dans une seconde phase de transformation, ces composés simples pourront le plus souvent se compliquer par de nouvelles condensations, en particulier en s'unissant aux benzaldéhydes substituées (vanilline, méthylvanilline, anisaldéhyde, pipéronal, acide opianique, etc.), qui se rencontrent fréquemment dans les tissus végétaux. Les produits de cette seconde réaction seront les alcaloïdes isoquinoliques proprement dits, tels que nous les trouvons dans le pavot, l'*Hydrastis canadensis*, l'épine-vinette, la corydale et bien d'autres plantes.

S'il en est ainsi, on aurait à voir dans quelques alcaloïdes isoquinoliques plus simples, tels que l'hydrocotarnine de l'opium (formule I ci-dessous) et la base de la formule II découverte par *F.-S. Beattie*[1], dans le *Syndesmon thallictroïdes*, des représentants de la première phase de transformation.

CH_2, CH_2, $CH_2<$ O O, $N.CH_3$, CH_3O, CH_2

I

CH, $C.COOCH_3$, N, C.OH

II

Les alcaloïdes de l'opium devraient dès lors être considérés, de même que la très grande majorité des autres bases végétales, comme des produits plus ou moins modifiés de la désagrégation des albumines.

Genève. Laboratoire de Chimie organique de l'Université.

[1] *Journal Americ. Chem. Soc.* **40**. 415.

CONSTITUTION DE L'ÉTHER MONOMÉTHYLIQUE

DE LA

DINITROHYDROQUINONE DE WESELSKY ET BENEDIKT

Préparation de quelques dérivés méthylés des dinitro-p-anisidines

PAR

Frédéric REVERDIN et Armand DE LUC

L'un de nous a décrit précédemment[1] la nitramine, F. à 125°, d'une dinitro-monométhyl-*p*-anisidine dont la constitution restait à déterminer ; cette nitramine fournit, par l'action de la lessive de soude à 4 % l'*éther monométhylique de la dinitrohydroquinone,* F. à 102°, décrit autrefois par Weselsky et Benedikt[2]. Mais il résulte des rectifications renfermées dans le *Beilstein's Handbuch* (2me édition, supplément t. II, p. 1245), que la constitution de ce dérivé était encore indéterminée et elle ne paraît pas l'avoir été depuis ; en effet, la nouvelle édition du *Richter's Lexikon der Kohlenstoffverbindungen* l'indique (p. 632, ligne 5, en haut) comme étant l'éther du dinitro-2-6-dioxybenzène-1-4, ce qui correspond aux deux formules de constitution suivantes :

OCH^3 / NO^2 / NO^2 / OH — I

ou

OCH^3 / NO^2 / NO^2 / OH — II

Gustave Walther[3] a déjà fait, en 1904, des recherches dans le but d'établir la constitution exacte de ce composé, mais il

[1] *Bull. Soc. chim. de France,* 4, t. IX, p. 45.

[2] *Wien. Mon.*, t. II, 1881, p. 369.

[3] Inaugural-Dissertation vorg. der Universität Basel, 1904.

n'est pas arrivé à résoudre la question expérimentalement; cependant comme il a obtenu en méthylant la dinitrohydroquinone, au moyen du sulfate de méthyle en présence de lessive de potasse, l'éther monométhylique de Weselsky et Benedikt et comme le groupe OH voisin de deux groupes NO^2, doit avoir un caractère plus négatif que celui qui en est éloigné, c'est dans ce dernier, lequel retient moins énergiquement l'alcali, qu'a dû entrer le groupe méthyle. Ces considérations ont engagé l'auteur à supposer que l'éther en question correspond à la formule II.

C'est à cette même conclusion que nous sommes arrivés par voie expérimentale et ceci nous a permis de fixer en même temps la constitution de la *nitramine* F. à 125°, dont il a été question ci-dessus, comme étant celle de la *dinitro-3-5-monométhyl-p-anisidine* :

OCH^3

NO^2 NO^2

$N{<}^{CH^3}_{NO^2}$

Cette nitramine donnant par réduction, après élimination du groupe NO^2 du *méthylamino*, une base qui a été identifiée comme étant une *m*-diamine, il ne pouvait y avoir d'hésitation qu'entre les positions 2-6 et 3-5 pour les NO^2, de même que dans le cas du dérivé de l'hydroquinone.

Nous avons pour résoudre la question préparé, en premier lieu, la *dinitro-2-6-diméthyl-p-anisidine* :

OCH^3

NO^2 NO^2

$N(CH^3)_2$

dans le but de la transformer ensuite en nitramine.

A cet effet, nous avons fait réagir à la température du bain-marie et pendant une demi-heure, du sulfate de méthyle en excès sur la solution de la dinitro-2-6-*p*-anisidine F. à 212°, dans l'alcool méthylique; en additionnant d'eau le produit de la réaction, on obtient un précipité qui devient cristallin au bout de quelques minutes et qui, après avoir été purifié par

cristallisation dans l'alcool étendu, puis dans l'acide acétique dilué est en belles aiguilles jaune orange de F = 150°.

Cette combinaison est insoluble à froid dans l'eau, faiblement soluble à chaud, elle est soluble dans l'alcool froid ainsi que dans l'acétone, l'acide acétique et le benzène, insoluble dans la ligroïne.

0.1245 gr. subst. ont donné 0.2069 gr. CO^2; 0.0562 gr. H^2O
Soit trouvé C = 45.32 %; H = 5.01
Calculé pour $C^9H^{11}O^5N^3$: C = 44.81 % H = 4.56 %

Meldola a décrit précédemment[1] un produit F. > 300°, qu'il avait préparé par méthylation de la même dinitro-*p*-anisidine au moyen du sulfate de méthyle en présence d'alcali; ce composé serait donc un isomère. M. le prof. Meldola, d'après une communication particulière qu'il a eu l'obligeance de me faire, incline à croire que la combinaison F. > 300° a une structure quinoïdique; il continue du reste les recherches à ce sujet. Notre dinitrodiméthyl-*p*-anisidine soumise à la nitration, au moyen de HNO^3 de D = 1.52, en maintenant quelques instants la solution à la température du B-M, fournit une nitramine F. à 139-140°, qui est différente de la nitramine dont nous cherchons à établir la constitution; cette dernière constituait le produit ultime de la nitration de la diméthyl-*p*-anisidine.

Cette nouvelle nitramine se dissout dans l'acide sulfurique concentré avec une belle coloration rouge fuchsine qui disparait au bout de quelque temps; chauffée avec de la lessive de soude elle dégage de la méthylamine. Elle est assez soluble à chaud dans l'alcool, dans lequel elle cristallise bien, en aiguilles prismatiques légèrement jaunâtres. Sa non-identité avec la nitramine décrite précédemment avec le F = 125°, prouve donc que cette dernière correspond bien à la formule ci-dessus et par suite que l'éther monométhylique de la dinitrohydroquinone de Weselsky et Benedikt, doit être représenté par la formule II.

Nous avons aussi essayé, mais sans succès, de méthyler la dinitro-3-5-*p*-anisidine; le voisinage des deux groupes *nitro* et du groupe *amino* parait mettre obstacle à cette réaction ou tout au moins à la rendre fort difficile.

[1] *Proc. of chem. Soc.*, t. XXVI, 1910, p. 232.

Les deux autres dinitro-*p*-anisidines (2-3 et 2-5), peuvent en revanche être méthylées au moyen de sulfate de méthyle, dans les conditions indiquées ci-dessus, mais tandis que la dinitro-2-6-*p*-anisidine, dans laquelle les deux positions voisines du groupe *amino* sont libres, donne, comme nous l'avons dit plus haut, avec la plus grande facilité, le dérivé diméthylé, les deux autres isomères fournissent toutes deux le dérivé monométhylé; ceci n'a rien de surprenant, puisque dans les deux cas une seule des positions voisines du groupe *amino* est libre.

La *dinitro-2-3-monométhyl-p-anisidine* :

OCH^3

NO^2

NO^2

$N{H \atop CH^3}$

cristallise dans l'alcool dilué en aiguilles rouge foncé, qui commencent à fondre vers 150° pour couler à 156°.

0.1835 gr. subst. ont donné CO^2 0.2835 et H^2O 0.0661
0.1412 » » 0.2195 » 0.0545
Soit trouvé C = 42.01; 42.40 %. H = 4.00; 4.28 %
Calculé pour $C^8H^9O^5N^3$: C = 42.24; H = 3.96.

Ce composé est insoluble à froid dans l'eau, assez soluble à froid dans l'alcool, l'acide acétique, l'acétone et le benzène, insoluble dans la ligroïne.

Enfin la *dinitro-2-5-monométhyl-p-anisidine* :

OCH^3

NO^2

NO^2

$N{H \atop CH^3}$

est en aiguilles feutrées, rouge sombre, de F = 201-202° et présente à peu près les mêmes caractères de solubilité que le dérivé précédent.

0.1267 gr. subst. ont donné CO^2 0.1958 et H^2O 0.0483
Soit trouvé C = 42.14 %: H = 4.23
Calculé pour $C^8H^9O^5N^3$: C = 42.24 %; H = 3.96.

Genève. Laboratoire de chimie organique de l'Université.

BIOLOGIE DU MÉTAL THORIUM

PAR

Arnold ROSSEL

Les métaux cerium et thorium ont été étudiés et sont plus particulièrement connus depuis que Auer de Welsbach a employé leurs sels pour imprégner le manchon du bec de gaz qui porte son nom ; ce sont des métaux terreux qui font suite à l'aluminium et dont les propriétés étaient restées longtemps un problème irrésolu.

On trouve le thorium dans le thorit, dans les laboratoires il est plus simple, quand on veut étudier ses propriétés d'utiliser les déchets des cendres des manchons Auer défectueux. Le sable monazit qui est la matière première de la préparation des oxydes de thorium et de cerium, ne procure des avantages que quand il peut être travaillé en grandes quantités.

Le chimiste Dr Werner de Bolton, auquel on doit les résultats importants relatifs aux propriétés du métal tantal qui a précédé l'emploi du wolfram pour l'usage des lampes électriques à filaments métalliques Osram, publie dans la *Zeitschrift für Elektrochemie*, des observations biologiques remarquables relatives au métal thorium.

Bolton avait conservé pendant six mois, 10 gr. de métal pur dans une bouteille de 100 gr. contenant de l'eau stérilisée. Il constata à la surface du métal, la formation de bactéries qu'il put développer par culture sur de la gélatine. Il était probable que des organismes dont les germes n'avaient pas été détruits, se développaient en présence du métal. La même expérience renouvelée donna le même résultat qui ne fut obtenu avec aucun des métaux usuels ; on devait admettre que le thorium possède une action biologique particulière.

Cette observation fut complétée par le procédé suivant : du métal thorium en poudre fut mélangé avec du sable marin

stérilisé en différentes proportions et l'action de ce mélange observé sur des animalcules vertébrés de la structure la plus simple, le poisson *lanceolatus* primitif qui vit sans tête et sans matière cérébrale dans le sable de la mer.

Dix bouteilles de deux litres de capacité, renfermaient 200 gr. de sable avec de l'eau de mer, ainsi que du thorium pur en poudre, en proportions variant de 0 à 50 % du poids du sable. Dans chaque bouteille furent introduits de 12 à 15 exemplaires du poisson rudimentaire. Un jet d'air circulait continuellement à travers le liquide. Au bout de cinq mois, les animaux de la première bouteille étaient morts et en décomposition, et la bouteille à l'intérieur étaient tapissée d'algues; dans la bouteille 2, dont le sable contenait 10 % de thorium, deux poissons étaient encore vivants au bout de trois mois et les algues étaient moins nombreuses ; dans la bouteille 3, dont le sable contenait 25 % de métal, le tiers des poissons étaient vivants et l'eau restait plus pure de végégaux, et enfin dans la dernière bouteille avec du sable à 50 % de thorium, tous les poissons étaient vivants dans une eau à peu près libre de toute algue.

Ce résultat semble démontrer que le métal thorium exerce une action biologique sur l'organisme et on peut admettre qu'il possède la propriété de détruire certains germes nuisibles sans danger pour l'individu vivant. Il est évident que si les résultats de ces expériences se confirment, le métal thorium peut être appelé à un avenir important en médecine, il s'agirait d'une de ces remarquables propriétés auxquelles nous a habitué le radium.

Nous constatons le rôle que jouent le fer, le potassium, le phosphore, le calcium, dans la nourriture des plantes comme aliments indispensables : l'action physiologique des métaux terreux est moins connue, cependant la parenté entre la vie végétale et l'influence minérale apparaît de plus en plus évidente et on est en droit de se demander si certaines plantes rares que nous retrouvons toujours aux mêmes endroits et si dificiles à transplanter avec succès ailleurs, ne sont pas due à la présence dans le sol de composés de métaux terreux, possédant une action physiologique sur le végétal.

COMPTE RENDU DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ VAUDOISE DES SCIENCES NATURELLES

Séance du 17 mai 1911

J. Cauderay. Ondes électriques. — B. Galli-Valerio. Parc national. — Emile Argand. Sur les plissements en retour et la structure en éventail dans les Alpes occidentales. — Perriraz. Croissance en contact d'un hêtre et d'un chêne.

M. J. Cauderay montre que si les *ondes électriques* ont la propriété de rendre les limailles métalliques conductrices de l'électricité, c'est parce qu'il se fait une véritable soudure autogène entre les grains de métal.

M. B. Galli-Valerio a visité le *parc national* du Val Cluoza et les vallées environnantes ; il en a rapporté une collection de clichés qu'il montre en projections à la société.

M. Emile Argand. *Sur les plissements en retour et la structure en éventail dans les Alpes occidentales.*

L'éventail des Alpes franco-italiennes se continue en Valais dans des conditions qui permettent d'expliquer sa genèse par des causes très différentes de celles qu'on a invoquées jusqu'ici. Le pli couché V s'est avancé vers l'extérieur des Alpes en labourant le pli IV. La matière du pli IV s'est fortement amincie, par laminage, dans ce qui est maintenant le massif du Camughero, au-dessous du pli V en mouvement, et a flué au-devant de ce dernier pour s'accumuler dans des régions moins comprimées et fournir l'énorme pli de la Mischabel, le plus gros pli en retour des Alpes occidentales. J'ai donné à ce phénomène, en 1906, le nom d'*encapuchonnement*, parce que le pli en retour IV enveloppe à distance les plis frontaux V comme le ferait un capuchon. La cause prochaine de l'encapuchonnement du pli en retour et par conséquent de la structure en éventail de la nappe IV dans les Alpes Pennines, c'est *l'avancée en profondeur* (Unterschiebung), *vers l'extérieur*

des Alpes, du pli V sous une partie du pli IV, qui a été contrainte à se plisser en retour au-dessus de l'objet perturbateur.

Dans les Alpes Pennines, la structure en éventail du flanc normal IV n'est pas moins complexe que dans leur prolongement franco-italien, au long de la zone dite axiale, dans les Alpes Graies, Cottiennes et Maritimes. Deux éléments concourent à la former : d'une part, au voisinage du Rhône valaisan, de nombreuses digitations poussées vers l'extérieur des Alpes qui répondent aux digitations frontales du Briançonnais ; de l'autre, et plus en dedans, une zone fort large où prévaut l'apparent déversement en retour. Le pli de la Mischabel n'est pas le seul pli en retour du flanc normal IV dans les Alpes Pennines ; il y a ceux du Val des Dix et du Val de Bagnes où Gerlach a déjà dessiné la structure en éventail en 1871, et où j'ai observé leurs charnières. Des plis en retour à déversement très modéré existent au fond de la vallée de Turtmann. Ce sont les implications de « schistes de Casanna » et de trias calcaire que montre ma *Carte géologique du massif de la Dent Blanche* (1908), dans le rocher isolé entre les deux glaciers de Turtmann. Ce paquet est probablement la réapparition affaiblie de gros plis qui jouent un rôle essentiel dans les vallées de Rhême et de Grisanche et s'immergent au N.-E., en direction axiale, sous le Mésozoïque, au voisinage de la Doire Baltée. Les plis en retour de Bagnes et du Turtmanntal se projettent fort en avant de celui de la Mischabel ; il en résulte que l'aile interne de l'éventail IV, ou zone du développement favori des plis en retour, est large d'une vingtaine de kilomètres dans les Alpes Pennines.

Si nous cherchons, dans la direction du sud-est, quels sont les objets qui continuent ce dispositif, nous trouvons, dans les Alpes Graies, le pli en retour de Valsavaranche, que je considère comme une réapparition lointaine de celui de la Mischabel. L'avancée profonde, vers le nord-ouest, des plis frontaux enfouis de la nappe du Grand-Paradis (V), dans des conditions très analogues à ce que montre le massif du Mont-Rose, rend compte de la naissance de ce pli en retour. La branche mésozoïque de la Grivola joue dans les Alpes Graies le même rôle que celle de Saas dans les Alpes Pennines. Les plis plus externes de l'éventail, dans les vallées de Rhême et de Grisanche, et qui sont plus petits que celui dit de Valsavaranche, paraissent dus à l'action plus lointaine, et partant affaiblie, de l'« Unterschiebung » V.

Dans les Alpes Cottiennes, beaucoup de choses se passent comme si les plis frontaux V (Dora-Maira p. p.) avaient exercé une action analogue vers l'ouest, sous la large zone mésozoïque centrale, dite du Viso, en labourant le flanc normal IV et en le dressant au devant d'eux sous forme de plis en retour. Telle me semble avoir été l'origine d'une bonne partie des plis en retour de

la zone permo-carbonifère dite axiale et de sa couverture mésozoïque. On a cru, à tort selon moi, que les plis en retour englobent toutes les parties inférieures des Alpes Cottiennes. Cela évidemment parce que les masses cristallines du versant italien plongent surtout à l'Ouest. Admettre, pour cette seule raison, que le massif Dora-Maira et sa couverture mésozoïque ont marché vers l'Est, c'est comme si on pensait que le massif du Mont-Rose et la branche de Saas ont marché vers le S.-E., parce que ces choses plongent principalement au N.-W., et bien que la branche d'Antrona révèle le vrai sens de poussée. La zone mésozoïque centrale des Alpes Cottiennes représente, là-bas, la branche de Saas de mes profils. Les plis couchés Dora-Maira se sont avancés vers l'ouest, comme je l'ai récemment fait voir, et les plus élevés d'entre eux, à tout le moins, jouent le rôle de la nappe du Mont-Rose qu'ils prolongent. Les plis en retour les plus accentués se trouvent plus en dehors, et intéressent surtout les parties internes de la zone axiale IV avec les formations mésozoïques immédiatement adjacentes. La persistance de la structure en éventail dans la zone permo-carbonifère IV des Alpes Maritimes est probablement imputable à la persistance de l'objet perturbateur, nappe V, qui dans ce cas serait caché en profondeur sous la partie méridionale du bassin tertiaire piémontais.

En somme, le profil transversal moyen que j'ai construit pour les Alpes Pennines m'apparaît comme prototypique pour toutes les Alpes intérieures franco-italiennes. Que les digitations de sens direct de IV et de V, ou que les plis en retour de IV soient plus ou moins nombreux, plus ou moins dressés ou couchés qu'ils se relaient entre eux dans une mesure plus ou moins marquée, ce sont là des variations de détail, comme en subit ordinairement le profil transversal des grands plis couchés. Ces derniers (IV et V) persistent, tantôt plus, tantôt moins encapuchonnés l'un dans l'autre. Ce qui est changé, en revanche, c'est la manière dont l'érosion nous présente les phénomènes. A ce point de vue, la région pennine est *optimum ;* elle montre toute la succession verticale des nappes, grâce à un rapport favorable, mais transitoire, entre l'altitude de la surface topographique moyenne et celle des plans axiaux. La région franco-italienne est moins favorisée ; elle ne montre que la partie moyenne du dispositif pennique représenté par mes constructions citées. Les nappes I, II, III et toutes les parties profondes de IV et de V restent cachées en profondeur. VI est en grande partie exporté par l'érosion. Ce que l'on voit, ce sont les parties hautes et moyennes, les carapaces de IV et de V, et l'on ne voit guère autre chose. Ce qu'on a appelé l'éventail des Alpes franco-italiennes n'est pas l'éventail tout entier, mais seulement la partie haute de celui-ci. Vers le N.-E., les axes des plis

couchés s'élèvent, et les parties profondes de l'éventail, qui sont de beaucoup les plus importantes par l'explication génétique du phénomène, apparaissent au jour dans les Alpes Pennines. On *voit* alors comment l'éventail, large d'au moins 35 km. entre les plis frontaux au voisinage du Rhône et le pli en retour de la Mischabel, flotte en direction axiale sur le synclinal III-IV, comment il ne tient plus à sa racine que par un étroit pédoncule couché et reployé, le massif de Camughero, et pourquoi l'avancée profonde de la nappe V a été l'agent tardif de sa production.

En extrapolant en profondeur ces résultats certains, vers le sud-ouest, le sud et le sud-est, sous les Alpes franco-italiennes, on applique le principe de continuité axiale, qui est à peu près vrai entre certaines limites, et on conclut du visible à l'invisible. La méthode a ses écueils, mais aussi longtemps qu'il n'y en a pas de meilleure, nous avons le droit de penser que les plis en retour de la zone axiale IV sont dus à l'avancée profonde (Unterschiebung) de la nappe V (Mont-Rose-Grand Paradis-Dora Maira), phénomène qui est continu sur plusieurs centaines de kilomètres, au long des Alpes Pennines, Graies, Cottiennes et peut-être au delà.

M. Perriraz. — *Croissance en contact d'un hêtre et d'un chêne.*

Il existe dans les bois situés sur la pente ouest des Pléiades un arbre intéressant formé de deux végétaux, un hêtre et un chêne, qui vivent en contact. D'une hauteur approximative de 18 à 20 mètres, ces arbres élèvent leurs branches entremêlées ou soudées sur plusieurs points. La partie inférieure du chêne est fortement atteinte, par contre le hêtre est très vigoureux. Dans certains endroits, il y a formation de véritables greffes par approche, greffes qui ont comme résultat le plus fréquent la mort de la branche ou du hêtre ou du chêne, suivant leur position réciproque. Il arrive aussi qu'une ramification passe au travers d'une autre ; on observe alors la formation d'un bourrelet sur la branche traversée, l'autre ne présentant qu'une faible variation en épaisseur.

Ce cas est intéressant au point de vue théorique. En effet, par le contact si intime des deux végétaux, le tissu subéreux qui, semble-t-il, aurait dû s'hypertrophier suffisamment pour empêcher la diffusion des sèves, n'a rien présenté d'anormal. D'après ce que l'on voit extérieurement, les sèves se sont trouvées sur plusieurs points en contact à certains moments de l'année, et cette fusion a été préjudiciable et même mortelle pour l'un des végétaux. Les liquides colloïdaux seraient donc d'une composition chimique suffisamment différente pour être toxiques envers les végétaux d'essences diverses. On connaît d'autres cas de contacts semblables dans notre région, sapin et saule, sapin et érable, mais jamais il

n'y a un contact aussi intime, et une subérisation intense s'est formée aux points de jonction. A ce point de vue, l'exemple des Pléiades méritait bien de prendre place dans la série des figures des arbres de notre région.

Séance du 7 juin

A. Rosselet. Résultat de ses mesures comparatives sur l'intensité des radiations ultra-violettes. — Paul-L. Mercanton. Réception à Lausanne des signaux horaires de la Tour Eiffel. — Mercanton. Variation de température par déformation élastique. — Argand. Drainage préglaciaire du versant suisse des Alpes pennines. — F. Perriraz. L'arc-en-ciel du 30 mai.

M. A. Rosselet communique le résultat de ses mesures comparatives sur l'intensité des radiations ultra-violettes à Lausanne et Leysin. Elles ont été effectuées par la méthode photo-électrique et permettent les conclusions suivantes : 1° L'intensité des radiations ultra-violettes, en un même lieu (Lausanne ou Leysin), augmente lorsqu'on se rapproche de l'été ; 2° La différence d'intensité entre l'hiver et l'été est moins sensible à Leysin qu'à Lausanne ; 3° La grande variation de l'intensité des radiations ultra-violettes en hiver et sa constance relative en été ; 4° La différence d'intensité entre Lausanne et Leysin diminue et devient nulle en été.

M. Rosselet mentionne encore le fait intéressant signalé déjà par le professeur Gockel et d'autres, de la disparition totale de l'ultra-violet solaire, par un ciel très clair, sans cause apparente.

Le mémoire complet paraîtra dans les comptes rendus du Congrès international de tuberculose à Rome.

M. Paul-L. Mercanton. *Réception à Lausanne des signaux horaires de la Tour Eiffel.*

Le poste radiotélégraphique de la Tour Eiffel à Paris, envoie chaque jour à minuit et onze heures du matin, deux séries de signaux horaires de grande portée ; chaque série se compose de trois pointés : la première série coïncide avec 0 heure, 0 minute H. E. O. ; 0 h. 2 m. ; 0 h. 4 m. ; la deuxième série coïncide avec 11 h. 0 m. ; 11 h. 2 m. ; 11 h. 4, exactement ; ces pointés sont effectués automatiquement par l'Observatoire de Paris ; ils sont toujours précédés de signaux avertisseurs donnés à la main.

Aidé de M. Jules Meystre, étudiant ingénieur, j'ai pu recevoir ces signaux en utilisant comme antenne un fil de fer jusque-là sans emploi et tendu entre les beffrois de la cathédrale de Lausanne et de l'Hôtel de Ville où le poste a été installé. Le montage est du type dit à action directe. L'antenne, longue de 185 m., à l'exté-

rieur du poste, est complétée par un solénoïde réglable et un condensateur qui la sépare de la terre. Celle-ci est prise sur une conduite d'eau ; le condensateur à air n'a d'autre but que de supprimer l'effet perturbateur du courant alternatif urbain ; il atténue aussi les perturbations d'origine atmosphérique. Entre l'antenne et le condensateur s'intercale le détecteur électrolytique Ferrié dont la sensibilité très grande est réglée par un potentiomètre. Ces variations de résistance sous l'action des ondes (2,000 m.) qui le traversent, engendrent des signaux sonores dans un écouteur téléphonique de haute résistance (3,500 ohm.). Signaux prémonitoires et pointés horaires sont perçus de jour comme de nuit, à Lausanne, avec une grande netteté malgré la distance (400 km.) et le rudimentaire de cette installation à action directe ; le poste s'est d'ailleurs montré sensible à des émissions d'étincelles musicales dont la réception exige des dispositifs bien plus soignés.

M. Mercanton. *Variation de température par déformation élastique.*

(Une expérience de cours). Edlund (1865) a utilisé, pour mesurer l'équivalent mécanique de la calorie, le refroidissement et le réchauffement d'un fil métallique soumis à une traction élastique brusque puis relâché. La thermodynamique établit, en effet, entre la variation et la température T et la variation de la charge du fil P dans une opération adiabatique la relation ci-après :

$$\Delta T = -\frac{T}{E} \cdot \frac{a}{C} \frac{I}{M} \Delta P$$

où T est la température absolue, M la masse par unité de longueur du fil, L son coefficient de dilatation et C sa chaleur spécifique sous effort constant, enfin E l'équivalent. On voit que la variation de température est de sens tel qu'elle s'oppose à la continuation de la déformation.

Le dispositif d'Edlund ne se prête pas à la démonstration *coram publico* ; son principe mériterait pourtant d'être mis en évidence devant un auditoire ; je crois y être parvenu, dans mon cours, de la manière suivante : la flexion d'une lame élastique entraîne de part et d'autre la surface des fibres neuves, des déformations de signe contraire, et croissant avec la distance à cette surface ; les fibres retirées se refroidissent, les fibres comprimées se réchauffent. Les deux faces de la lame présentent ainsi une différence de température décelable par des moyens un peu sensibles. J'ai imaginé de former sur ces faces les deux soudures d'un couple thermoélectrique. Vous avez le dispositif sous les yeux ; une simple lame de fleuret cassée et pincée dans cet étau par sa racine ; sur deux de ces faces et en regard l'un de l'autre, j'ai soudé deux

bouts de fil de nickel ; ces tiges sont reliées directement au galvanomètre, de grande sensibilité et de faible résistance. Un peu d'ouate les isole thermiquement de l'extérieur. Quand je fléchis la lame dans le plan des soudures, l'une s'échauffe, l'autre se refroidit, le galvanomètre marque une élongation, qui revient au zéro, la différence de température s'effaçant graduellement.

Pour une flexion inverse, c'est le contraire qui a lieu. Quant la flexion se fait inverse dans le plan perpendiculaire à la ligne des soudures, l'écart des températures restant nul, le galvanomètre ne bouge pas.

Dans les mêmes conditions, une barre d'invar dont le coefficient de dilatation est négligeable ne montrerait pratiquement rien. Pour l'acier trempé ordinaire sous une contrainte de 8000 kg. par cm^3, l'écart des températures serait de l'ordre de 1° centigrade.

On ferait voir pareillement qu'une torsion engendre un refroidissement des portions périphériques de la barre. Il suffirait qu'une des soudures fût placée d'une façon à ne pas prendre part à la torsion. Il faudrait cependant choisir un métal non magnétique pour éviter l'effet perturbateur d'une force électromotrice de sens variable avec la torsion que celle-ci engendre dans les tiges aimantées (Zehnder) et susceptible de masquer l'effet thermoélectrique attendu.

M. Argand parle du *drainage préglaciaire du versant suisse des Alpes pennines.*

M. F. Perriraz. *L'arc-en-ciel du 30 mai.*

Le 30 mai, à 6 ¾ h. du soir, se produisait un phénomène météorologique intéressant et rare, visible dans la région de Vevey. Un arc-en-ciel normal, dont l'une des branches passait dans le rayon visuel des Dents de Morcles, avait son second bras appuyé sur le lac au large du Bouveret. Au-dessus de ce premier arc, s'en trouvait un second à couleurs inverses. Partant des bases de ces arcs, deux autres s'en détachaient semblables à la description donnée dans le *Bulletin de la Société vaudoise* d'août 1889. A cette époque, M. G. de Palézieux, ayant décrit ce phénomène à M. H. Dufour, ce dernier en avait donné l'étude théorique. Les arcs décrits étaient semblables à ceux du 30 mai 1911, mais en plus, à part les quatre déjà cités, on voyait une région bleue et violette très marquée, à l'extérieur du premier arc, soit du primaire. Cette zone se reflétait dans le lac, mais était invisible dans la tranche réfléchie dans les airs, peut-être par le fait de son peu d'intensité : Le point de jonction du premier arc réfléchi avec l'arc secondaire était spécialement brillant. La durée du phénomène a été de 20 minutes à peu près.

Assemblée générale du 24 juin, à Nyon

Mercanton. Pression de radiation. — F.-A. Forel. Retour de froid au mois de juin. — E. Dutoit. Vitesse de la lumière. — Biermann. Profils transversaux de la partie orientale du Léman. — H. Faes. Nouvelles recherches sur le phylloxéra et le mildiou.

M. Mercanton fait le discours présidentiel de tradition ; il traite de la *pression de radiation.*

M. F.-A. Forel montre que dans les dernières années il y a eu un *retour de froid au mois de juin.*

M. E. Dutoit a fait des expériences pour déterminer la *vitesse de la lumière* et en donne les premiers résultats.

M. Biermann signale le contraste entre *deux séries de profils transversaux de la partie orientale du Léman.* Les premiers, qui sont ceux du pays de Montreux, sont concaves vers le ciel et de direction convergente. Le pays de Montreux apparaît donc comme une *niche.* Le fond et même les parois de cette niche sont remarquablement abrités du vent par les hauteurs périphériques. Tandis que Genève et Lausanne accusent une proportion de la moitié seulement de calmes, Montreux en présente les $^{9}/_{10}$. On sait que c'est cette tranquilité de l'air qui a attiré à Montreux les premiers étrangers, malades de la poitrine, qui cherchaient un air moins vif que dans les pays du nord. L'afflux des étrangers a augmenté et maintenant Montreux est la ville d'hôtels que l'on sait, ainsi que le centre d'un des plus importants réseaux de chemins de fer de montagne de la Suisse.

Les profils de la seconde série appartiennent à Lavaux ; ils sont à la fois convexes vers le ciel et divergents. Loin d'être une niche, Lavaux se présente comme une *saillie.* Les vents y ont libre accès ; en revanche l'insolation y est plus considérable qu'à Montreux où la barrière des montagnes fait écran. A l'éclairement et à l'échauffement directs par le soleil s'ajoute la valeur de la réflexion par la surface du lac. Etudiée en 1863 par L. Dufour, puis en 1908 par H. Dufour, la chaleur réfléchie est égale à 20-30 % de la chaleus directe, au maximum à 68 %. Elle a son action spéciale sur ler végétaux, puisqu'elle les atteint par-dessous et non plus par-dessus. La vigne est d'autant mieux indiquée que la déclivité des parties basses de Lavaux gêne les communications et fait obstacle à la culture mécanique.

Les caractères distinctifs de Lavaux et de Montreux ont donc leur origine dans des particularités climatiques qui, elles-mêmes, découlent des différences du relief.

M. H. FAES présente de nouvelles recherches sur le phylloxéra et le mildiou.

Séance du 5 juillet

Cornaz. L'Usine à gaz. — Th. Biéler-Châtelan. Châtaigniers calcicoles. — E. Argand. Sur la limite des deux séries cristallophylliennes compréhensives dans les Alpes occidentales.

M. CORNAZ initie la Société, à l'aide de nombreux plans, au fonctionnement de l'Usine à gaz.

M. Th. BIÉLER-CHATELAN. — *Châtaigniers calcicoles.* — Le Châtaignier passe généralement pour être une espèce calcifuge. Suivant MM. Fliche et Grandeau, il craindrait les sols fortement calcaires. Suivant M. Chatain, 2 à 3 % de chaux constitueraient même déjà pour lui une dose mortelle.

En revanche, M. le prof. Engler a montré *(Berichte der schweiz. bot. Gesellschaft* XI, 1901) que le Châtaignier peut prospérer sur des sols d'origine pétrographique très diverse, contenant jusqu'à 20 % et plus de calcaire. M. Biéler a vérifié ce fait en plusieurs localités de Suisse et d'Italie.

Il ne semble donc pas que la chaux soit nuisible au Châtaignier, car elle passe en proportions notables dans les feuilles et le bois de cet arbre, même quand il croît sur des sols très pauvres en chaux.

Mais il y a plus. M. Biéler a eu la preuve qu'un apport direct de chaux au pied des Châtaigniers n'exerce aucune action nuisible : les grands fours à chaux qui dominent Monthey (Valais) sont entourés de nombreux Châtaigniers croissant sur la moraine granitique ; or, on dépose depuis plusieurs années les déchets de chaux au pied de ces arbres sans les incommoder plus que si l'on y entassait de grosses masses de terre ordinaire capables de gêner plus ou moins la respiration des racines. Tout au plus quelques-uns d'entre eux montrent-ils un léger jaunissement chlorotique des feuilles, imputable aussi bien à l'asphyxie des racines qu'à une action directe de la chaux.

La chaux ne paraît donc nullement nuisible à ces Châtaigniers. Bien au contraire, elle aurait plutôt une influence favorable en mobilisant la potasse, abondante dans ce sol granitique, et en la fournissant ainsi en majeure quantité aux racines.

On est ainsi conduit à admettre que la mal-réussite des Châtai-

gniers sur certains sols calcaires dépend moins des fortes doses de chaux que de la *pénurie de potasse*. L'analyse montre en effet que ce qui caractérise les Châtaigniers des sols calcaires, c'est avant tout la rareté de la potasse dans toutes les parties de ces arbres, cet alcali n'atteignant guère que la moitié ou le quart des doses observées dans les Châtaigniers des sols siliceux suffisamment pourvus de potasse.

Voilà qui expliquerait la croissance précaire des Châtaigniers dans maints sols calcaires, comme ceux par exemple que l'auteur a pu observer à la Puyat près d'Annecy, sur le calcaire urgonien. Ces arbres paraissent y trouver tout juste leur subsistance. Ils réussissent encore à mûrir leurs fruits, mais sont loin d'atteindre la taille exubérante de leurs congénères des sols abondamment pourvus de potasse.

Peut-être l'emploi des engrais potassiques permettrait-il d'améliorer le Châtaignier sur les sols plus ou moins dépourvus de potasse. M. Bieler se propose de faire des expériences à ce sujet.

M. Emile Argand. — *Sur la limite des deux séries cristallophylliennes compréhensives dans les Alpes Occidentales.* — Dans un mémoire récent, j'ai montré que la zone permo-houillère dite axiale et sa couverture de quartzites triasiques, du Valais à la Méditerranée, sont le noyau anticlinal, replié et digité, de la nappe du Grand-Saint-Bernard [1]. Il convient, en effet, d'englober les quartzites du Trias inférieur dans les noyaux anticlinaux des grands plis couchés, et non dans les synclinaux intermédiaires. Ces derniers débutent par le Trias calcaire et dolomitique, ou par les schistes lustrés à roches vertes qui le remplacent latéralement.

La légitimité de cette coupure, qui a trouvé son expression graphique dans ma Carte tectonique des Alpes Pennines [2], résulte des passages latéraux dont j'ai constaté [3] la présence entre les quartzites du Trias inférieur et le sommet de la série compréhensive profonde (troisième série cristallophyllienne de Termier). Cette série n'est pas seulement préhouillère, houillère et permienne, elle est encore, par sa partie haute, du Trias inférieur. Voilà le point, et il importe au tectonicien.

[1] Emile Argand. *Les nappes de recouvrement des Alpes Pennines et leurs prolongements structuraux.* Matér. Carte géol. suisse, nouv. sér., XXXI, I, Berne 1911.

[2] Op. cit., planche I.

[3] Emile Argand. *L'exploration géologique des Alpes Pennines centrales.* Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat. T. XLV, 1909, et Bull. Labor. Géol., etc. Univ. Lausanne, n° 14, 1909, p. 10-12. Les passages latéraux et verticaux des quartzites du Trias inférieur à la série compréhensive profonde ne sont

La limite inférieure des quartzites, quand elle est un peu précise, permet de faire de la tectonique locale. Mais il n'y a pas, à cette hauteur, de bonne limite permettant de faire de la tectonique générale : le passage vertical et latéral des quartzites compacts à la série compréhensive est souvent très confus, et comprend des alternances nombreuses, des transitions lithologiques[1] très ménagées, ou les deux choses à la fois. Ces relations prédominent sur le versant suisse des Alpes Pennines, au long du flanc normal IV et souvent aussi dans la région frontale de cette nappe. L'indication est claire. Pour obtenir des formes structurales comparables entre elles dans toute l'étendue des nappes intra-alpines, il faut prendre comme limite des deux séries la base des schistes lustrés à pietre verdi qul le remplacent latéralement, et ranger les quartzites du Trias inférieur dans la série profonde, a laquelle leurs relations d'hétéropie les rattachent naturellement.

La limite ainsi définie est presque toujours une *tranche* douée d'épaisseur, non une surface, et cela provient des passages verticaux par quoi se relient les deux séries. Suivant les points, ces passages ont lieu entre quartzites et Trias calcaire, ou entre quartzites et schistes lustrés à roches vertes, ou entre la série profonde et les mêmes terrains, sans interposition de quartzites. Quand les quartzites et le Trias calcaire font défaut au même point, il y a passage direct de l'une à l'autre série, et le type compréhensif est réalisé dans sa plénitude.

J'ai dit, il y a cinq ans, que les nappes IV, V et VI sont de grands plis couchés[2]. La présence de passages graduels à leur contact inférieur exclut, en effet, qu'il puisse s'agir d'un autre mode de recouvrement. Les passages graduels engagés dans les flancs renversés sont amincis[3] par laminage, sans l'être nécessai-

pas un fait local ; leur extension est pour le moins régionale, et les progrès de mes levés détaillés montrent que ce phénomène est la règle dans la partie suisse de la nappe du Grand-Saint-Bernard, de la vallée de Saint-Nicolas à celle de Bagnes.

[1] Quartzites feuilletés chlorito-véricitiques et micaschistes quartzitiques, passant d'une part aux micaschistes, de l'autre aux quartzites francs. Ces derniers se relient insensiblement à des quartzites psammitiques et pséphitiques, souvent riches en galets de quartz rosé.

[2] Emile Argand. *Sur la tectonique du massif de la Dent-Blanche.* C. R. Acad. Sc., 26 février 1906.

[3] Les suppressions de flancs renversés sont l'exception locale dans la zone du Piémont, mais acquièrent une notable importance dans les digitations extérieures, à faciès briançonnais, de la nappe du Grand-Saint-Bernard.

rement partout. Les lits successifs ont glissé les uns sur les autres. A l'intérieur des lits les lamelles des minéraux clivables et les grains cataclistiques existants, ou qui ont existé avant la dernière recristallisation, ont exécuté des mouvement différentiels. Beaucoup de ces déplacements élémentaires étaient minimes, mais leur résultat global est considérable : c'est l'amplitude des grands plis couchés. Un passage graduel aminci et étalé sur toute l'aire d'un flanc renversé continue à se présenter comme un passage graduel. Il n'est pas indifférent de rappeler que pour construire les grands plis couchés de la zone du Piémont, *nous n'avons besoin nulle part de limite tranchée.*

BULLETIN SCIENTIFIQUE

MATHÉMATIQUES

Dr M. Laue. Das Relativitætsprinzip, 1 vol. 208 p., Brunswick, Vieweg und Sohn, 1911.

Dans un volume de la collection « Wissenschaft », M. Laue présente un exposé très clair du principe de relativité. Malgré la haute importance de ce principe, qui modifie d'une manière si profonde notre notion du temps et, par contre-coup, les conceptions fondamentales de la Physique moderne, le nombre des traités spéciaux qui lui sont consacrés est encore des plus restreints. Une monographie destinée à faciliter l'étude des travaux originaux d'Einstein, Minkowski, Sommerfeld,... vient donc à son heure, et est assurée de trouver un public empressé de lecteurs.

D'autant plus que l'ouvrage de M. Laue est écrit d'une manière très attrayante, que les calculs sont présentés avec beaucoup d'élégance et de généralité, et qu'aucune face du sujet n'est laissée dans l'ombre. L'auteur étudie le principe de relativité, successivement dans l'ordre historique des théories et des faits expérimentaux qui en ont rendu l'introduction nécessaire, et dans la série des conséquences qu'il implique pour les divers domaines de la Physique et de la Mécanique. Ce volume apporte à tous, mathématiciens, physiciens et philosophes, une ample matière à réflexions. C. C.

PHYSIQUE

H. Zickendraht. Untersuchungen mit einem neuen aerodynamischen Instrumentarium. *Ann. der Physik*, 4e, 35, p. 47.

L'auteur a publié, il y a un an,[1] un travail important sur la mesure de la pression exercée sur une surface plane soumise à un courant d'air horizontal, et l'instrument dont il s'est servi nous a été montré à la réunion de la Société helvétique de l'an dernier.

[1] *Verhandl. d. Basler Naturf. Ges.*, 21, p. 41.

Dans le mémoire dont il s'agit ici, l'auteur confirme les résultats déjà obtenus et publie de nouvelles recherches intéressantes sur le champ aérodynamique entourant la plaque soumise au courant.

Pour étudier le champ des pressions, il emploie une sonde de pression mise en communication avec le manomètre différentiel de Töppler. Un simple tube à section droite, dont l'ouverture serait placée en un point du champ, ne suffit pas, car les indications varient avec l'orientation de la section, et c'est à suppléer à cette difficulté que la sonde sert. Elle se compose d'une tête métallique à forme d'obus conique, de 1 cm. de long, emmanchée sur un cylindre de petit diamètre qui pénètre dans un entonnoir, lequel se prolonge jusqu'au tube manométrique. Cette forme donne lieu à des réactions de courants d'air dans l'espace compris entre la tête et l'entonnoir, ayant pour effet d'établir une contrepression égale à la pression au point donné, laquelle se transmet au manomètre.

C'est dans un plan vertical passant par l'axe du courant d'air, qui est horizontal, que la répartition des pressions est mesurée de cm^2 en cm^2. Les coordonnées de chaque point sont données par un support vertical muni d'une échelle qui se meut le long d'une échelle horizontale. En joignant les points de même pression, l'auteur obtient les isobares du champ, courbes présentant une régularité remarquable et donnant avec tous ses détails les propriétés du flux d'air, se heurtant à la plaque interposée, puisque le courant en un point quelconque est normal à l'isobare. En résumé, avec une plaque rectangulaire normale au courant, l'amont et l'aval sont séparés par un plan qui est le prolongement de celui de la plaque dans lequel la pression est égale à celle de l'air en repos. D'après les isobares concentriques en avant de la plaque, on voit que la direction du courant est radiale vers le centre de la plaque avec un maximum de surpression au centre même. Sur les bords de l'écran, le courant d'air est aspiré derrière la plaque avec une chute de pression qui augmente radialement vers le centre. Sous l'influence de cet appel, les lignes de courant se concentrent et il en résulte un faible maximum avec surpression d'où le courant part axialement dans les deux sens. Le courant, en s'infléchissant autour des bords, donne lieu à un système de doubles tourbillons dont les centres sont deux minima de pressions.

Si la plaque est inclinée sur l'axe du courant, le champ est modifié par le fait que le centre de pression s'avance vers le bord proéminent, mais la disposition générale des isobares, sauf qu'elles ne sont plus symétriques, reste la même.

PHYSIQUE DU GLOBE

F.-A. Forel, E. Muret, P.-L. Mercanton. Les variations périodiques des glaciers des Alpes suisses, 31me rapport 1910. *Annuaire du S. A. C.*, XLVIme année.

Le 31me rapport sur les variations périodiques des glaciers des Alpes suisses, que nous signalons ici à l'attention de nos lecteurs, se compose de trois parties :

1° Une savante discussion de M. Forel sur l'adaptation du cycle de Bruckner aux périodes constatées de la marche des glaciers qui conclut comme suit :

a) Dans la pluviométrie de l'Europe, il y a des faits de longue périodicité, périodicité tertio-séculaire correspondant suffisamment aux valeurs du cycle de Bruckner. Ils satisferaient aux allures générales des variations de grandeur des glaciers qui sont elles aussi de très longue périodicité.

b) Ces variations périodiques de la pluviométrie ne sont pas simultanées dans les diverses régions de l'Europe. Il n'y a donc pas lieu de chercher dans les diverses chaînes de montagnes une simultanéité dans les phases de crue des glaciers dues aux variations de l'alimentation en neige des névés.

2° Le rapport continue par une note de M. P.-L. Mercanton sur l'enneigement en 1910. Après avoir compulsé les innombrables mesures recueillies par ses nombreux correspondants dans les stations répandues sur toute l'étendue des Alpes suisses, en particulier au nivomètre d'Ornex (3119 m.), au nivomètre de l'Eiger (3100 m.) et au nivomètre des Diablerets (3030 m.), au Val d'Entremont et aux Forts de St-Maurice il conclut ainsi :

L'année 1910 a été en Suisse une année d'enneigement fortement progressif. Ce caractère lui a été donné plus encore peut-être par l'insuffisance de la chaleur estivale que par l'augmentation des précipitations hivernales. Le réenneigement n'a pourtant pas encore pu regagner complètement le terrain perdu depuis 1902.

Enfin le rapport se termine par une chronique des glaciers suisses en 1910, par MM. Forel et Muret.

D'après les observations de cette année 1910, les auteurs constatent encore la généralité de la décrue dans l'ensemble des glaciers des Alpes suisses. Cependant ils reconnaissent aussi une tendance à une reprise de crue qui s'affirme de mieux en mieux depuis quelques années. Quelques glaciers, au nombre de huit, sont signalés comme étant en crue *douteuse*, ayant montré dans les dernières mesures seulement des signes d'allongement ; d'autres, au nombre de sept, comme étant en crue *probable*, les symptômes d'allongement ayant été reconnus pendant les deux dernières années ; deux

glaciers enfin sont en crue *certaine* : le glacier de *Sex Rouge*, dans les Alpes vaudoises, est en crue continue depuis 1906, avec un allongement total de 26 m.; le glacier *inférieur de Grindelwald*, est en crue depuis 1907, avec un allongement total de 74 m.

Les glaciers qui montrent ces indices de crue certaine, probable ou douteuse, sont tous dans la chaîne septentrionale, au nord de la vallée longitudinale du Rhône et du Rhin ; pour les autres chaînes des Alpes, au sud de cette vallée, il n'y a pas encore de crue signalée.

GÉOLOGIE

F. MÜHLBERG. DER BODEN DES AARGAUS. *Festschrift zur Feier des hundertjährigen Bestandes der Aargauischen Naturforschenden Gesellschaft.* Sauerländer, Aarau, 1911.

La Société argovienne fondée le 30 septembre 1811 vient de célébrer son jubilé centenaire. Elle a publié à cette occasion un volume de fête dont M. F. Mühlberg son président a été le rédacteur. Après une introduction de M. Mühlberg, et une longue notice de M. A. Hartmann sur l'histoire de la société pendant le premier siècle de son existencc, ce volume, le douzième de ses mémoires, contient divers travaux de ses membres : de MM. Fischer-Sigwart, J. Hofer et Guntert sur la faune argovienne, de M. Hofer sur les champignons argoviens, de M. H. Schmuziger sur le régime des forêts dans ce canton, de M. Jules Muller sur les observations météorologiques faites aux stations de Bözberg et de Königsfelden, de M. Blösch sur les terrains d'alluvion du Frickthal, de M. A. Brütschy sur le plankton du lac de Hallwyl. Mais la plus importante de ces notices est celle de M. Mühlberg lui-même sur la géologie du canton d'Argovie, dont il fait avec sa grande autorité un exposé magistral.

Cette description géologique commence par une définition de la série des formations géologiques, depuis le gneiss de la Forêt Noire jusqu'aux dépôts glaciaires et post-glaciaires qui couvrent une grande partie du sol argovien. Puis l'auteur montre les caractères tectoniques particuliers du Jura tabulaire, des chaînes jurassiennes et des régions molassiques ; il consacre quelques pages aux matières premières exploitées dans son canton et il termine par une description des types de topographie qui se rencontrent en Argovie, et de l'hydrographie de ces territoires variés.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES A

L'OBSERVATOIRE DE GENEVE

PENDANT LE MOIS

DE SEPTEMBRE 1911

Du 1 au 13, rosée le matin.
le 13, éclairs pendant la soirée.
14, rosée le matin ; faible pluie à 3 h. et dans la soirée.
15, pluie dans la nuit ; de 4 h. 30 à 5 h. et à 8 h. du soir.
16, pluie le matin à 1 h., à 4 h. et à 5 h. du soir ; bise pendant la journée.
17, pluie à 7 h. du matin ; bise pendant la journée.
les 18 et 19, rosée le matin et le soir.
le 20, rosée le matin ; pluie depuis 5 h. du soir ; fort vent à 1 h. et à 4 h. du soir.
21, pluie dans la nuit et pendant la plus grande partie de la journée.
22, pluie dans la nuit, à 1 h. et à 7 h. du soir.
23, pluie dans la nuit et pendant la plus grande partie de la journée.
24, pluie dans la nuit et depuis 5 h. 20 m. du soir.
25, brouillard le matin ; rosée le soir.
les 26, 27, 28 et 29, rosée le matin et le soir.
le 29, pluie dans l'après-midi.
30, pluie depuis 3 h. 30 m. du soir.

GENÈVE — SEPTEMBRE 1911

Jour du mois	Pression atmosphérique 700mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Barographe Max.	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Vit. moy. kil. h.	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moy. 6 obs.	Durée d'inso-lation	Pluie Hauteur 24 h.	Nombre d'heures
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm										h.	mm.	
1	32.6	32.7	32.4	32.36	+ 4.60	31.8	33.2	W. 0	N. 1	N. 0	N. 1	3.3	1	0	0	0	11.5	....	....
2	33.8	32.9	32.5	32.96	+ 5.22	31.8	33.8	NW. 0	N. 1	N. 0	N. 1	2.9	0	0	0	0	11.7	....	....
3	33.3	32.2	31.5	32.37	+ 4.65	31.2	33.3	NW. 0	N. 1	SW. 1	calme	1.9	0	0	0	0	12.0	....	....
4	32.3	31.3	30.8	31.36	+ 3.66	29.4	32.3	SW. 1	N. 1	NE. 1	N. 1	3.6	0	0	0	0	11.5	....	....
5	32.0	31.6	31.9	31.58	+ 3.90	30.8	32.2	WNW.1	NNW. 1	NNW 0	NNW. 1	3.0	1	1	0	0	11.2	....	....
6	32.6	31.6	31.8	32.02	+ 4.37	31.0	32.7	W. 0	NNW. 1	NNW. 0	NNW. 1	3.8	1	1	1	1	11.5	....	....
7	32.2	31.5	30.6	31.42	+ 3.79	30.1	32.3	NNW. 0	NNW. 1	WNW.0	NNW. 1	2.1	0	0	0	0	11.3	....	....
8	30.6	29.2	28.6	29.53	+ 1.93	27.8	30.8	WNW.0	NNW. 1	SSW. 0	calme	1.7	2	1	2	2	11.0	....	....
9	28.8	27.9	27.0	27.94	+ 0.36	26.3	28.9	N. 1	S. 1	SSE. 1	SSW. 1	2.8	2	1	0	1	10.9	....	....
10	28.0	27.6	27.9	27.72	+ 0.17	27.1	28.2	SSW. 1	N. 1	NNE. 1	N. 1	3.2	0	1	0	0	11.1	....	....
11	29.1	27.8	28.2	28.35	+ 0.83	26.8	29.2	NNE. 1	N. 1	N. 0	N. 1	5.0	0	4	0	1	10.3	....	....
12	29.8	28.9	29.8	29.32	+ 1.83	28.4	30.5	WNW.0	SSW. 1	SSW. 1	SSW. 1	5.4	0	1	1	1	10.5	....	....
13	31.1	29.9	29.8	30.19	+ 2.73	28.9	31.1	SSW. 0	SSW. 1	SSW. 1	SSW. 1	5.2	3	3	9	5	8.2	....	....
14	28.4	25.4	23.8	26.63	− 0.80	23.8	30.0	NE. 1	NNE 1	N. 1	NNE. 1	5.9	6	6	10	8	5.5	0.7	1
15	23.0	22.6	24.8	23.26	− 4.14	22.5	24.9	SW. 0	SSW. 2	SSW. 1	SSW. 1	3.2	7	5	10	8	4.9	1.0	1
16	26.5	27.1	28.0	26.84	− 0.53	25.2	28.1	NNE. 2	N. 1	NNE 2	NNE 1	1.6	10	10	10	10	...	10.1	4
17	28.5	29.4	31.2	29.44	+ 2.10	28.1	31.9	NNE. 1	NNE. 1	NNE. 1	NNE. 1	11.0	10	10	0	6	1.2	0.2	1
18	33.6	32.9	33.2	33.00	+ 5.69	32.2	33.6	SW. 1	NNE. 3	NNW. 1	NNE. 2	**14.0**	0	0	0	0	10.9	....	....
19	32.1	29.2	28.5	30.38	+ 3.11	28.0	33.3	WNW.0	N. 1	SW. 0	N. 1	11.7	0	1	0	1	10.1	....	....
20	26.3	22.9	22.7	24.60	− 2.64	21.6	28.0	WSW.0	SSW. 2	W. 1	SSW. 1	4.9	7	7	10	8	6.4	3.9	4
21	19.3	21.6	20.8	**20.66**	**− 6.55**	**19.2**	22.0	SSW. 1	S. 1	W. 1	SSW. 1	4.8	10	10	9	9	...	**18.9**	11
22	20.8	21.6	22.8	21.66	− 5.52	20.1	23.0	N. 1	NNW. 1	NE. 1	NNW. 1	4.6	9	10	10	10	....	2.6	4
23	21.6	21.4	24.3	22.12	− 4.72	21.4	24.7	NE. 1	NNE. 2	WNW.0	NNE. 1	8.6	10	10	10	10	....	6.2	**12**
24	26.6	27.1	30.2	27.14	+ 0.33	25.4	30.5	WNW.1	N. 1	N. 0	calme	1.5	10	9	10	10	2.8	5.6	4
25	30.4	30.7	30.2	30.46	+ 3.39	29.6	31.4	WNW.0	N. 1	N. 0	N. 1	2.5	10	1	0	2	9.6	....	....
26	32.3	32.5	32.9	32.33	+ 5.29	31.5	33.3	SE. 1	NNE. 1	N. 0	var.	2.1	0	5	0	1	9.6	....	....
27	34.2	33.3	33.3	**33.67**	**+ 6.67**	32.9	**34.2**	WNW.0	N. 1	WNW.0	calme	1.9	0	1	0	0	9.9	....	....
28	33.7	32.7	33.5	33.25	+ 6.28	32.5	33.7	NNW. 1	SSW. 1	SSW. 0	SSW. 1	2.9	8	9	3	6	7.8	...	....
29	32.0	31.6	31.7	31.99	+ 5.06	31.4	33.0	SSW. 0	SSW. 2	SSW. 0	SSW. 1	4.6	10	10	8	10	....	1.0	1
30	29.7	27.4	22.6	27.43	+ 0.53	21.6	31.1	NNE. 1	SSW. 1	WSW.1	SSW. 1	7.9	8	9	10	9	2.9	8.4	7
Mois	29.51	28.81	28.90	29.09	+ 1.46							4.69	4.2	4.2	3.7	4.0	221.3	58.6	50

GENÈVE — SEPTEMBRE 1911

Jour du mois	Température 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Observ.	Ecart avec la normale	Min.	Max.	Fraction de saturation en % 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Min.	Max.	Tempér. du Rhône Midi	Ecart avec la normale	Limnimètre
	°	°	°	°	°	°	°								°	°	mm.
1	+11.5	+21.2	+19.0	+17.93	+ 1.34	+11.7	+23.1	82	59	83	73	− 1	53	90	21.9	+ 3.6	1710
2	16.5	21.0	21.3	20.30	+ 3.82	14.0	26.8	86	61	84	75	+ 1	51	91	21.8	+ 3.6	1695
3	18.0	25.9	21.2	21.56	+ 5.19	15.1	30.0	84	53	65	70	− 5	33	92	—	—	1685
4	15.9	25.8	24.0	21.30	+ 5.05	13.6	29.2	83	50	52	66	− 9	45	88	22.1	+ 4.0	1705
5	17.1	27.1	21.4	21.69	+ 5.56	14.7	29.0	76	41	68	64	−11	34	92	21.8	+ 3.8	1695
6	16.8	26.8	21.4	21.23	+ 5.21	11.4	28.0	78	43	67	65	−10	33	93	22.0	+ 4.0	1720
7	16.3	26.2	20.8	21.14	+ 5.25	13.9	28.5	77	47	69	66	−10	32	94	—	—	1735
8	16.0	26.2	21.8	21.66	+ 5.89	14.1	31.2	82	48	49	59	−17	24	93	21.8	+ 4.0	1705
9	18.4	31.1	20.3	**23.34**	+ 7.70	16.6	**32.8**	61	18	51	**45**	**−31**	**15**	73	22.2	+ 4.4	1715
10	16.7	21.8	22.0	21.01	+ 5.49	11.5	27.7	63	54	59	58	−18	38	85	—	—	1675
11	15.3	21.7	18.4	18.90	+ 3.51	13.8	21.4	81	59	79	77	0	54	93	21.4	+ 3.8	1680
12	14.5	29.4	23.6	21.44	+ 6.19	12.4	31.9	84	27	56	61	−16	18	96	21.8	+ 4.3	1690
13	17.6	29.3	23.0	22.89	+ **7.77**	16.3	30.5	79	34	58	63	−14	30	90	22.0	+ 4.6	1660
14	18.1	24.2	18.8	20.34	+ 5.36	15.8	25.0	78	57	77	71	− 6	50	93	21.5	+ 4.1	1670
15	15.3	24.3	16.6	18.36	+ 3.51	14.0	25.2	92	40	92	75	− 3	35	94	21.0	+ 3.7	1670
16	14.4	11.2	13.3	13.96	− 0.75	12.4	15.6	84	91	76	**90**	**+12**	74	98	18.5	+ 1.3	1695
17	11.7	15.0	13.0	13.62	− 0.94	11.1	17.0	86	64	70	73	−15	52	93	—	—	1735
18	8.6	17.2	11.6	12.64	− 1.78	6.2	18.8	82	34	71	61	−17	33	93	19.0	+ 2.0	1695
19	8.1	18.3	13.9	13.52	− 0.76	**6.0**	22.3	85	39	71	65	−13	29	90	18.8	+ 1.9	1685
20	12.6	25.3	15.0	16.84	+ 2.71	11.7	26.8	83	30	88	67	−12	30	90	19.0	+ 2.2	1680
21	14.9	11.9	10.2	12.50	− 1.48	8.8	15.5	80	90	93	88	+ 9	78	98	18.4	+ 1.7	1655
22	9.0	11.1	9.6	**9.55**	− **4.28**	7.4	12.1	94	67	84	83	+ 4	63	94	17.2	+ 0.6	1685
23	7.6	10.5	9.7	9.59	− 4.09	7.4	11.8	97	80	95	87	+ 8	68	97	16.5	0.0	1735
24	9.5	14.7	11.9	11.70	− 1.82	8.5	16.4	97	62	96	85	+ 6	58	99	—	—	1730
25	10.3	17.3	13.5	13.81	+ 0.44	10.0	19.0	98	62	86	84	+ 4	58	99	17.2	+ 0.9	1685
26	9.8	17.6	13.2	13.41	+ 0.20	8.5	19.6	81	68	92	81	+ 1	56	96	17.1	+ 0.9	1705
27	8.4	18.2	13.9	13.55	+ 0.50	7.4	20.3	96	62	86	82	+ 2	52	100	17.2	+ 1.1	1700
28	12.3	22.5	13.7	15.91	+ 3.02	11.5	23.0	94	47	77	75	− 5	44	97	17.5	+ 1.5	1685
29	12.0	16.7	13.0	13.84	+ 1.11	11.1	17.2	90	70	95	84	+ 4	68	96	17.2	+ 1.3	1675
30	+ 9.5	+14.5	+ 9.4	+11.51	− 1.06	+ 9.0	+15.4	85	50	89	73	− 8	42	92	16.6	+ 0.8	1685
Mois	+13.52	+21.10	+16.62	+16.97	+ 2.31	+11.75	+23.16	84	54	76	72	− 5			19.66	+ 2.59	1695

MOYENNES DE GENÈVE. — SEPTEMBRE 1911

Correction pour réduire la pression atmosphérique de Genève à la pesanteur normale : + 0mm.02. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 700mm +

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re déc.	31.32	31.28	31.62	31.76	30.84	29.89	30.00	30.70	30.93
2e »	28.83	28.78	28.83	28.70	27.61	27.09	27.67	28.09	28.20
3e »	28.37	27.91	28.06	28.28	28.00	27.89	28.20	28.34	28.13
Mois	29.51	29.32	29.51	29.58	28.81	28.29	28.62	29.04	29.09

Température.

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
	°	°	°	°	°	°	°	°	°
1re déc.	+16.69	+14.68	+16.62	+22.75	+25.91	+27.70	+24.41	+20.16	+21.12
2e »	14.44	12.89	13.62	18.56	21.89	22.07	18.37	16.16	17.25
3e »	10.76	10.15	10.33	14.19	15.50	15.31	12.93	11.13	12.54
Mois	+13.96	+12.57	+13.52	+18.50	+21.10	+21.69	+18.57	+15.82	+16.97

Fraction de saturation en %.

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
1re décade	82	85	77	58	48	40	54	69	64
2e »	84	90	83	66	47	49	66	76	70
3e »	92	92	91	75	66	67	83	91	82
Mois	86	89	84	66	54	52	68	79	72

Dans ce mois l'air a été calme 250 fois sur 1000.

Le rapport des vents $\frac{\text{NNE}}{\text{SSW}} = \frac{70}{47} = 1.49$

Moyennes des 3 observations (7h, 1h, 9h)

	mm
Pression atmosphérique.......	29.07
Nébulosité.................	4.0
Température $\frac{7+1+9}{3}$..	+17°.08
Température $\frac{7+1+2\times9}{4}$..	+16°.96
Fraction de saturation........	71 %

Valeurs normales du mois pour les éléments météorologiques, d'après Plantamour :

	mm
Press. atmosphér.. (1836-1875).	27.63
Nébulosité.. ..... (1847-1875).	4.9
Hauteur de pluie.. (1826-1875).	94mm.2
Nombre de jours de pluie. (id.).	10
Température moyenne... (id.).	+14°.66
Fraction de saturat. (1849-1875).	77 %

Observations météorologiques faites dans le canton de Genève

Résultats des observations pluviométriques

Station	CÉLIGNY	COLLEX	CHAMBÉSY	CHATELAINE	SATIGNY	ATHENAZ	COMPESIÈRES
Hauteur d'eau en mm.	65.4	53.2	65.9	58.1	42.9	58.3	64.5

Station	VEYRIER	OBSERVATOIRE	COLOGNY	PUPLINGE	JUSSY	HERMANCE
Hauteur d'eau en mm.	73.3	58.6	58.6	70.3	69.9	66.9

Insolation à Jussy : 206 h. 8.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AU

GRAND SAINT-BERNARD

PENDANT LE MOIS

DE SEPTEMBRE 1911

Le 13, très fort vent le matin.
14, vent violent l'après-midi.
15, vent violent le matin.
les 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23 et 24, pluie.
17 et 18, très forte bise.
18, 22, 23 et 24, neige.
22 et 23, violente bise.
24, 29 et 30, très forte bise.

GRAND SAINT-BERNARD — SEPTEMBRE 1911

Jour du mois	Pression atmosphérique 500mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Max.	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Pluie Hauteur (24 h.)	Neige Hauteur (24 h.)
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.									mm.	cm.
1	74.0	74.9	75.5	74.8	+ 6.7	73.8	75.7	SW. 2	SW. 1	SW. 1	SW. 1	8	4	0	4	....	....
2	75.8	76.1	76.4	76.1	+ 8.0	75.7	76.5	SW. 1	SW. 1	NE. 1	SW. 1	0	0	0	0	....	....
3	76.3	76.2	76.2	**76.2**	+ **8.2**	75.9	**76.4**	SW. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	0	1	0	0	....	....
4	75.7	75.5	75.4	75.5	+ 7.5	75.0	76.0	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	0	3	0	1	....	....
5	74.4	75.1	75.2	74.9	+ 7.0	74.4	75.3	NE. 1	NE. 2	NE. 1	NE. 1	0	3	0	1	....	....
6	74.3	75.2	76.0	75.2	+ 7.3	74.2	76.1	NE. 1	NE. 2	NE. 1	NE. 1	0	2	0	1	....	....
7	75.0	74.9	73.0	74.3	+ 6.5	72.9	75.6	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	3	3	3	3	....	....
8	74.1	73.5	73.2	73.6	+ 5.9	72.8	74.2	NE. 1	SW. 1	NE. 1	NE. 1	4	8	3	5	....	....
9	72.0	71.6	71.7	71.8	+ 4.2	71.6	72.8	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	0	3	0	1	....	....
10	71.3	70.8	71.7	71.3	+ 3.7	70.7	71.7	NE. 3	NE. 3	NE. 1	NE. 2	6	6	0	4	....	....
11	70.9	71.4	72.1	71.5	+ 4.0	70.9	72.3	NE. 1	SW. 1	NE. 2	NE. 1	9	4	2	5	....	....
12	72.5	75.3	74.1	74.0	+ 6.6	72.4	75.4	SW. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	0	6	0	2	....	....
13	73.7	73.4	73.4	73.5	+ 6.1	72.8	74.0	SW. 3	SW. 2	SW. 1	SW. 2	10	7	0	6	....	....
14	71.3	70.1	67.6	69.7	+ 2.4	66.9	72.4	SW. 2	SW. 3	SW. 4	SW. 3	10	9	10	10	....	....
15	64.8	64.8	66.2	65.3	− 1.9	64.8	66.7	SW. 4	SW. 1	SW. 1	SW. 2	10	10	10	10	21.2	....
16	66.7	66.9	66.9	66.8	− 0.3	66.7	67.0	NE. 1	SW. 1	SW. 2	SW. 1	7	10	5	7	**28.5**	....
17	66.0	66.8	67.4	66.7	− 0.4	66.0	67.9	NE. 1	NE. 3	NE. 3	NE. 2	10	10	4	8	4.7	....
18	68.5	69.7	71.0	69.7	+ 2.7	68.1	71.1	NE. 3	NE. 3	NE. 2	NE. 3	6	0	0	2	10.0	4
19	71.1	70.2	70.2	70.5	+ 3.6	68.9	71.1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	0	0	0	0	....	....
20	67.7	66.7	64.8	66.4	− 0.4	63.8	68.8	SW. 1	SW. 1	SW. 4	SW. 2	8	9	10	9	....	....
21	62.2	60.7	59.7	60.9	− 5.8	59.1	63.1	SW. 1	SW. 2	NE. 1	SW. 1	10	10	5	8	11.7	....
22	58.3	58.5	58.6	**58.5**	− **8.1**	58.2	58.6	NE. 2	NE. 2	NE. 6	NE. 3	10	10	10	10	18.7	6
23	57.3	58.7	61.1	59.0	− 7.6	**57.2**	62.3	NE. 6	NE. 2	NE. 4	NE. 4	10	10	10	10	23.0	**20**
24	63.5	65.2	67.4	65.4	− 1.1	62.9	68.0	NE. 3	NE. 2	NE. 2	NE. 2	10	10	10	10	14.0	10
25	68.4	69.6	70.4	69.5	+ 3.1	68.0	70.5	NE. 2	NE. 2	NE. 2	NE. 2	5	4	0	3	....	....
26	70.7	71.6	72.2	71.5	+ 5.2	70.6	72.3	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	0	0	0	0	....	....
27	72.0	72.5	72.7	72.4	+ 6.2	72.0	72.8	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	0	1	0	0	....	....
28	72.1	72.2	71.6	72.0	+ 5.9	71.0	72.6	NE. 2	NE. 2	NE. 2	NE. 2	10	8	0	6	....	....
29	69.6	69.1	68.6	69.1	+ 3.1	67.8	71.1	NE. 2	NE. 2	NE. 4	NE. 3	9	10	10	10	....	....
30	66.3	64.8	61.7	64.3	− 1.7	61.6	68.0	NE. 2	NE. 1	NE. 3	NE. 2	8	10	10	9	....	....
Mois	69.88	70.07	70.07	70.01	+ 2.56							5.4	5.7	3.4	4.8	131.8	40

Jour du mois	Température							Fraction de saturation en %					
	7 heures	1 heure	9 heures	Moyenne 3 Observ.	Ecart avec la normale	Minimum	Maximum	7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Min.	Max.
	0	0	0	0	0	0	0						
1	+ 7.2	+ 12.8	+ 11.3	+ 10.4	+ 5.3	+ 7.0	+ 14.2	91	66	96	84	53	96
2	9.1	16.0	12.0	12.4	+ 7.4	7.2	17.0	73	47	76	65	42	78
3	10.8	16.8	13.8	**13.8**	+ **8.9**	10.2	**18.1**	74	47	83	68	43	86
4	10.2	17.2	12.6	13.3	+ 8.5	10.0	17.4	79	40	79	66	37	84
5	10.1	15.0	10.0	11.7	+ 7.0	9.8	15.4	61	38	66	55	**30**	68
6	8.8	15.2	15.9	13.3	+ 8.7	8.2	16.2	69	41	67	59	32	69
7	9.3	15.9	11.4	12.2	+ 7.7	9.0	16.4	66	43	67	59	38	68
8	9.8	15.0	9.4	11.4	+ 7.0	9.0	16.2	69	49	72	63	42	74
9	8.8	13.8	9.0	10.5	+ 6.2	8.3	14.2	57	49	59	55	39	66
10	7.6	10.8	8.0	8.8	+ 4.6	7.0	12.5	72	51	66	63	44	73
11	7.2	12.5	8.4	9.4	+ 5.3	7.0	13.7	56	55	90	67	39	92
12	5.0	12.8	8.8	8.9	+ 4.9	5.0	13.2	100	44	83	76	36	100
13	6.8	10.2	9.4	8.8	+ 4.9	6.7	10.5	94	70	78	81	62	96
14	5.9	8.9	4.8	6.5	+ 2.7	4.6	9.2	96	79	98	91	71	99
15	3.9	5.2	5.2	4.8	+ 1.2	3.8	7.2	96	79	94	90	69	98
16	4.9	7.2	+ 3.9	+ 5.3	+ 1.8	+ 3.6	7.9	94	66	96	85	58	98
17	+ 1.2	0.0	– 1.6	– 0.1	– 3.5	– 1.7	4.2	96	96	99	**97**	72	100
18	– 4.3	1.9	+ 1.8	– 0.2	– 3.5	– 4.8	3.3	88	59	64	70	48	92
19	+ 4.2	11.1	6.8	+ 7.4	+ 4.3	+ 2.0	11.7	54	48	63	51	39	67
20	4.9	7.3	+ 2.6	4.9	+ 1.9	+ 2.4	8.2	59	61	94	71	52	96
21	+ 2.8	+ 2.8	– 1.2	+ 1.5	– 1.4	– 1.6	+ 3.5	76	87	94	86	68	96
22	– 2.2	– 2.3	– 3.6	– 2.7	– **5.5**	– 4.1	– 1.0	95	95	95	95	94	96
23	– 2.7	– 0.7	– 3.2	– **2.9**	– **5.5**	– **5.1**	– 0.6	93	94	95	94	93	96
24	– 2.4	+ 0.8	– 0.4	– 0.7	– 3.2	– 3.1	+ 1.4	95	100	81	92	80	100
25	+ 0.4	4.0	+ 2.6	+ 2.3	– 0.1	0.0	4.6	89	81	57	76	49	91
26	3.0	8.0	5.2	5.4	+ 3.2	+ 2.0	8.2	37	36	42	**38**	31	48
27	3.4	7.8	3.4	4.9	+ 2.8	3.0	8.1	59	72	85	72	51	92
28	1.8	6.4	2.8	3.7	+ 1.8	1.8	6.8	99	74	95	89	70	100
29	+ 2.4	3.0	+ 1.3	2.2	+ 0.4	+ 1.0	3.7	81	96	100	92	76	100
30	– 0.6	+ 1.6	– 0.2	+ 0.3	– 1.4	– 2.2	3.4	63	86	89	79	55	94
Mois	+ 4.51	+ 8.57	+ 5.67	+ 6.25	+ 2.93	+ 3.53	+ 9.49	78	65	81	75		

MOYENNES DU GRAND SAINT-BERNARD. — SEPTEMBRE 1911

Correction pour réduire la pression atmosphérique du Grand Saint-Bernard à la pesanteur normale : — 0mm.22. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

	Pression atmosphérique : 500mm +				Fraction de saturation en %			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
	mm	mm	mm	mm				
1re décade	74.29	74.38	74.43	74.37	71	47	73	64
2e »	69.32	69.53	69.37	69.41	83	66	86	78
3e »	66.04	66.29	66.40	66.25	79	82	83	81
Mois	69.88	70.07	70.07	70.01	78	65	81	75

Température.

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne. $\frac{7+1+9}{3}$	Moyenne. $\frac{7+1+2\times 9}{4}$
	°	°	°	°	°
1re décade	+ 9.17	+ 14.85	+ 11.34	+ 11.79	+ 11.68
2e »	3.97	7.71	5.01	5.56	5.42
3e »	0.39	3.14	0.67	1 40	1.22
Mois	+ 4.51	+ 8.57	+ 5.67	+ 6.25	+ 6.11

Dans ce mois l'air a été calme 0 fois sur 1000.

Le rapport des vents $\frac{NE}{SW} = \frac{111}{47} = 2.36$

Pluie et neige dans le Val d'Entremont.

Station	Martigny-Ville	Orsières	Bourg-St-Pierre	St-Bernard
Eau en millimètres.....	55.5	86.1	110.8	131.8
Neige en centimètres.. .	—	—	9	40

SYNTHÈSE DE LA BERBÉRINE

PAR

Amé PICTET et Alphonse GAMS

Dans un précédent article[1], il a été décrit un procédé nouveau d'obtention des bases isoquinoliques, basé sur la condensation du méthylal avec les phényléthylamines. Ce procédé semblait pouvoir être mis à profit pour la synthèse d'alcaloïdes naturels, et nous avons cherché à l'utiliser pour celle de la *berbérine.*

La berbérine occupe une place à part parmi les alcaloïdes végétaux, d'abord parce que c'est le seul qui soit en même temps une matière colorante, et en second lieu parce qu'elle présente ce caractère, également exceptionnel, de se rencontrer dans des végétaux appartenant à des familles botaniques différentes. Découverte en 1826 par *Chevallier* et *Pelletan*[2] dans l'écorce du clavalier (famille des Xanthoxylées), elle se trouve surtout (1-1,5 %) dans la racine de l'épine-vinette (Berbéridée) et (4 %) dans celle de l'*Hydrastis canadensis* (Renonculacée); elle existe en proportion plus faible dans beaucoup d'autres plantes.

La berbérine est surtout connue dans ses sels, qui sont tous de couleur jaune, stables à l'air, bien cristallisés, inactifs à la lumière polarisée et doués d'une saveur amère; leur action physiologique est peu accentuée. La base libre est facilement oxydable, cristallise avec un nombre variable de molécules d'eau et ne présente pas de point de fusion bien net; il semble

[1] A. Pictet et Th. Spengler, *Archives* **32**, 338.

[2] *Journal de chimie médicale* **2**, 314.

en exister plusieurs modifications isomériques, répondant à la formule $C_{20}H_{19}NO_5$.

La constitution chimique de l'alcaloïde a été déduite, comme dans beaucoup de cas semblables, de l'étude de ses produits d'oxydation. *Weidel*[1] et *E. Schmidt*[2] ont montré que cette oxydation fournit, en dernier ressort, les trois acides suivants:

COOH COOH HOOC N — Acide berbéronique

COOH CH₃O CH₃O COOH — Acide hémipinique

CH₂<O O COOH COOH — Acide hydrastique

La molécule de la berbérine renferme donc un noyau pyridique et deux noyaux benzéniques, l'un diméthoxylé, l'autre substitué par le groupement bivalent CH_2O_2. Il restait à établir comment ces trois noyaux sont reliés les uns aux autres. Cette question a été résolue par les beaux travaux de *William Henry Perkin jun.*[3] sur les produits intermédiaires de l'oxydation; ces travaux, dans le détail desquels nous ne pouvons entrer ici, ont montré que la molécule assez compliquée de la berbérine est formée de deux noyaux isoquinoliques condensés de manière à avoir en commun leur azote et un carbone voisin. La formule attribuée par Perkin au chlorhydrate de berbérine, par exemple, est:

CH_2 ; $CH_2<^O_O$; CH_2 ; $N<^H_{Cl}$; C CH ; C ; CH_3O ; OCH_3

Cette formule a été, quelques années plus tard, modifiée sur

[1] *Berichte* **12**, 410.

[2] *Berichte* **16**, 2589; *Archiv der Pharm.* **225**, 141; **228**, 596.

[3] *Journal chem. Soc.* **55**, 63; **57**, 991.

deux points par *Gadamer*[1] et par *Faltis*[2], et remplacée par la suivante :

Quant à la base libre, *Gadamer* lui assigne l'une ou l'autre des structures suivantes; elle les possède peut-être toutes deux, ce qui expliquerait l'existence de plusieurs modifications isomériques :

Ajoutons que, à côté de ses sels, la berbérine fournit deux dérivés plus stables et mieux caractérisés qu'elle, un produit d'oxydation, l'*oxyberbérine*, $C_{20}H_{17}NO_5$, et un produit de réduction, l'*hydroberbérine*, $C_{20}H_{21}NO_4$, auxquels reviennent les formules suivantes :

et

Oxyberbérine Hydroberbérine

[1] *Archiv der Pharm.* **239**, 648.

[2] *Monatshefte* **31**, 557.

L'*oxyberbérine* a été obtenue, à partir de la berbérine, par oxydation au moyen du permanganate (*Perkin*[1]), ainsi que par l'action des alcalis (*Gadamer*[2]). Elle est décrite comme un corps jaune, cristallisé en aiguilles, insoluble dans l'eau et dans les acides dilués, et fusible à 199,5°. Elle n'a pu jusqu'ici être reconvertie en berbérine.

L'*hydroberbérine (tétrahydroberbérine)* a déjà été préparée en 1863 par *Hlasiwetz* et *Gilm*[3] en traitant les sels de berbérine par le zinc et l'acide sulfurique. C'est une base incolore, tertiaire, fusible à 168°. Elle régénère facilement la berbérine par l'action des oxydants faibles (acide nitrique dilué, iode en solution alcoolique, brome en solution sulfocarbonique, etc.). Elle a été dédoublée par *Gadamer*[4] en ses deux modifications optiques. La modification gauche s'est trouvée identique à la *canadine*, alcaloïde découvert en 1894 par *E. Schmidt*[5] dans la racine de l'*Hydrastis canadensis*.

Ces deux dérivés, l'oxyberbérine et l'hydroberbérine, nous ont paru pouvoir être choisis comme produits intermédiaires dans la synthèse de la berbérine. Une fois obtenus artificiellement, il ne devait plus rester qu'à les convertir, le premier par réduction, le second par oxydation, en berbérine, pour que la synthèse complète de ce dernier alcaloïde se trouvât elle-même réalisée. Nous avons suivi simultanément les deux voies; la seconde seule, comme on va le voir, nous a conduits au but.

Synthèse de l'oxyberbérine

Nous avons pris comme point de départ la *méthylène-dioxy-tétrahydro-isoquinoline (norhydrohydrastinine*, formule II). Cette base était encore inconnue; nous l'avons préparée au moyen

[1] *Journal chem. Soc.* **57**, 1085.
[2] *Archiv der Pharm.* **243**, 35.
[3] *Annalen*, Suppl. **2**, 191.
[4] *Archiv der Pharm.* **239**, 648.
[5] *Archiv der Pharm.* **232**, 136.

de la réaction décrite dans l'article précédent, par l'action du méthylal sur l'*homopipéronylamine* (I):

$CH_2<^O_O$ (...) CH_2, CH_2, NH_2 + CH_2O = $CH_2<^O_O$ (...) CH_2, CH_2, NH, CH_2 + 20

I II

10 gr. de chlorhydrate d'*homopipéronylamine* (préparé selon les indications de *Rosenmund*[1] par condensation du pipéronal avec le nitrométhane et réduction du produit) ont été dissous dans 30 cm^3 d'acide chlorhydrique concentré et chauffés au bain-marie pendant trois heures avec 5 gr. de méthylal. On évapore ensuite la solution à sec et on retire du résidu la base secondaire à l'aide de sa nitrosamine. On obtient ainsi la norhydrohydrastinine à l'état d'une huile incolore, distillant à 197-199° sous la pression de 50 mm. Rendement 2 gr.

	Trouvé	*Calculé pour* $C_{10}H_{11}NO_2$ [2]
C	67,80	68,08
H	6,21	5,90

Il aurait pu sembler, à première vue, que le passage de la norhydrohydrastinine à l'hydroberbérine pût s'effectuer par simple condensation avec l'*acide opianique*, conformément à l'équation:

$CH_2<^O_O$ (...) CH_2, CH_2, NH, CH_2

Norhydrohydrastinine

+ CHO, COOH, OCH_3, OCH_3

Acide opianique

= $CH_2<^O_O$ (...) CH_2, CH_2, N, C, CO, HC, OCH_3, OCH_3 + $2H_2O$

Oxyberbérine

[1] *Berichte* **43**, 3412.

[2] Pour le détail des analyses, voir *Berichte* **44**, 2036 et 2480.

Mais les travaux de *Liebermann*[1] sur la condensation des acides opianique et phtalaldéhydique avec les amines primaires et secondaires ont appris, que, dans tous les cas étudiés, ces deux acides réagissent sous leur forme tautomérique d'*oxyphtalides*, et que l'élimination d'eau a toujours lieu entre le groupe azoté de la base et le groupe carbinol de l'oxyphtalide. La réaction entre la norhydrohydrastinine et l'acide opianique ne devait donc pas s'opérer selon l'équation précédente, mais selon la suivante :

```
              CH2                                 CH2
      O                CH2                O                CH2
CH2<                             CH2<
      O                NH                 O                N—CH—O
              CH2                                 CH2        |    |
          CHOH—O               =                                  —CO   + H2O
           |    |                                             OCH3
                —CO                                        OCH3
 +              OCH3
           OCH3
```

Pour obliger la condensation à se faire dans le premier sens il était nécessaire de l'effectuer en deux phases successives et de commencer par soustraire provisoirement à la réaction le groupe NH de la base et le carboxyle de l'acide : cela pouvait facilement se faire en remplaçant la norhydrohydrastinine par un de ses dérivés acylés à l'azote, et l'acide opianique par un de ses éthers normaux. De cette manière, on ne laissait plus en présence que le groupe aldéhydique de l'acide opianique et les groupes méthylène de la norhydrohydrastinine.

De plus, pour rendre plus mobiles les hydrogènes du groupe méthylène 1, qui seuls devaient prendre part à la réaction, il nous a semblé utile de substituer à l'hydrogène du groupe NH voisin un radical très acide. Celui de l'acide benzoïque ne s'étant pas montré, dans une expérience préalable, satisfaire assez complètement à cette condition, nous l'avons remplacé par le radical de l'acide *o*-nitrobenzoïque.

En définitive, nous avons fait agir l'*opianate de méthyle* sur la *N-o-nitrobenzoyl-norhydrohydrastinine.*

[1] *Berichte* **29**, 174, 183, 2030.

Cette dernière substance, dont la constitution est exprimée par la formule

CH_2
$CH_2<^{O}_{O}$ CH_2 NO_2-
N—CO—
CH_2

s'obtient facilement, d'après la méthode de Schotten-Baumann, en agitant une solution concentrée de chlorhydrate de norhydrohydrastinine avec un poids égal de chlorure d'*o*-nitrobenzoyle et une petite quantité de potasse. Elle forme de petites aiguilles incolores, fusibles à 104°.

	Trouvé	*Calculé pour $C_{17}H_{14}N_2O_5$*
C	62,47	62,58
H	4,40	4,29

3 gr. de ce composé et 2,5 gr. d'opianate de méthyle[1] (mélange équimoléculaire) sont dissous dans 20 gr. d'acide sulfurique concentré et abandonnés à eux-mêmes, à la température de 15° environ, pendant une quinzaine de jours. La solution, qui est d'abord rouge, devient successivement brune, verte et enfin bleu foncé. On la coule alors dans l'eau froide ; il se forme un précipité, que l'on fait recristalliser dans un mélange de benzène et d'éther de pétrole. On obtient ainsi un corps neutre, de couleur rouge-brique, fusible à 156 - 158°. Rendement 2 gr. L'analyse de ce corps montre qu'il a pris naissance par condensation de la nitrobenzoyl-norhydrohydrastinine et de l'opianate de méthyle, avec perte d'une molécule d'eau.

	Trouvé	*Calculé pour $C_{28}H_{24}N_2O_9$*
C	63,01	63,16
H	4,60	4,51

Les transformations subséquentes de ce produit prouvent en outre que, conformément à notre attente, la condensation a eu lieu entre le groupe aldéhydique de l'éther opianique et le groupe méthylène 1 du dérivé nitrobenzoylé :

[1] Préparé selon Wegscheider, *Monatshefte* **13**, 708.

CH_2 CH_2 $CH_2 < {O \atop O}$ $N.CO.C_6H_4.NO_2$ CH_2

$+$ CHO $COOCH_3$ OCH_3 OCH_3

$=$

CH_2 CH_2 $CH_2 < {O \atop O}$ $N.CO.C_6H_4.NO_2$ C ‖ CH $COOCH_3$ OCH_3 OCH_3 $+ H_2O$

Si l'on chauffe, en effet, le produit à 140 - 150° en tube scellé avec de la potasse alcoolique à 15 % pendant 2 - 3 heures, que l'on évapore ensuite à sec, reprenne par l'eau et acidifie par l'acide chlorhydrique, on voit se former un volumineux précipité. Celui-ci est un mélange de deux corps, qui se laissent facilement séparer par la soude diluée: le premier, qui est soluble dans l'alcali, est de l'acide *o*-nitrobenzoïque; le second, qui y est insoluble, se présente, après quelques cristallisations dans le benzène. sous la forme de belles aiguilles plates, tout à fait incolores, insolubles dans les acides et fondant sans décomposition à 199,5°. Son analyse conduit à la formule $C_{20}H_{17}NO_5$.

	Trouvé	*Calculé pour* $C_{20}H_{17}NO_5$
C	68,27	68,38
H	5,00	4,84

La composition et les propriétés de ce corps montrent qu'il s'est formé comme suit:

CH_2 CH_2 $CH_2 < {O \atop O}$ $N.CO.C_6H_4.NO_2$ C ‖ HC $COOCH_3$ OCH_3 OCH_3 $\rightarrow$

CH_2 CH_2 $CH_2 < {O \atop O}$ NH C ‖ HC COOH OCH_3 OCH_3 $\rightarrow$

CH_2 ; O ; CH_2 ; CH_2 ; O ; N ; C ; CO ; HC ; OCH_3 ; OCH_3

On remarquera que cette dernière formule constitutionnelle est celle qui a été attribuée à l'*oxyberbérine*. Les deux substances sont en réalité identiques, ainsi qu'un examen comparatif nous l'a prouvé. Toutes deux, ainsi que leur mélange, fondent à 199,5°. Elles cristallisent dans les mêmes formes, leurs solutions dans le benzène et le xylène présentent la même fluorescence bleue, les colorations qu'elles donnent avec les réactifs des alcaloïdes sont absolument identiques. Leur seule différence réside dans le fait, que tandis que l'oxyberbérine préparée avec la berbérine naturelle est toujours colorée en jaune, notre produit synthétique est incolore ; mais cette différence n'est qu'apparente : ainsi que l'a déjà observé *Faltis*[1], la couleur jaune de l'oxyberbérine « naturelle » est due à une impureté : on peut éliminer celle-ci par une réduction partielle et on obtient alors une matière parfaitement incolore.

Tous les essais que nous avons faits pour transformer par réduction l'oxyberbérine en berbérine sont restés infructueux. *Gadamer* et *Faltis* avaient déjà constaté que l'oxyberbérine résiste énergiquement à l'action des réducteurs usuels (zinc et acide acétique, étain et acide chlorhydrique, etc.). Nous pouvons en dire autant du sodium en présence des alcools éthylique ou amylique bouillants, ainsi que de la réduction électrolytique en solution sulfurique, qui a réussi à *Tafel*[2] dans le cas très analogue de la strychnine. L'acide iodhydrique bouillant attaque, il est vrai, l'oxyberbérine, mais en éliminant les groupes méthyle.

Nous n'avons pas obtenu un beaucoup meilleur résultat en

[1] *Monatshefte*, **31**, 570.

[2] *Annalen*, **301**, 302.

cherchant à remplacer, dans l'oxyberbérine, l'oxygène du groupe CO par le chlore, et à réduire ensuite le produit. Le pentachlorure de phosphore réagit avec l'oxyberbérine, en donnant un corps de couleur rouge. Celui-ci est le chlorhydrate d'une base chlorée. Lorsqu'on le dissout dans l'acide chlorhydrique concentré et qu'on chauffe la solution avec de l'étain, elle se décolore; on en peut retirer ensuite une base qui montre, il est vrai, de grandes ressemblances avec l'hydroberbérine, mais qui fond plus haut et contient encore du chlore. Nous pensons que ce dernier est entré dans le groupe CH_2O_2. Sous l'influence des oxydants faibles, cette base fournit des sels fortement colorés en jaune, qui sont peut-être ceux d'une berbérine chlorée.

Synthèse de l'hydroberbérine

On vient de voir que nous n'avons pu réussir à réaliser la synthèse de la berbérine en passant par l'oxyberbérine, celle-ci ayant résisté à tous nos essais de réduction. Nous avons été plus heureux en suivant l'autre voie indiquée page 376, et en passant par l'*hydroberbérine.*

Nous avons obtenu cette dernière base au moyen des quatre opérations suivantes :

1. Condensation de l'homopipéronylamine avec le chlorure homovératrique.
2. Déshydratation du produit au moyen de l'anhydride phosphorique.
3. Réduction par l'étain et l'acide chlorhydrique.
4. Condensation avec le méthylal.

1. *Condensation de l'homopipéronylamine et du chlorure homovératrique.*

6 gr. d'acide homovératrique sont chauffés à 110° pour éliminer l'eau de cristallisation, puis dissous dans du chloroforme sec. A cette solution on ajoute 6 gr. de pentachlorure de phosphore. La réaction a lieu à froid; lorsqu'elle est terminée, on chasse le chloroforme et l'oxychlorure de phosphore par distillation sous pression réduite et on agite le résidu (constitué par

le *chlorure homovératrique)* avec une solution aqueuse de 6 gr. de chlorhydrate d'*homopipéronylamine* et un peu de potasse caustique. Le produit de la réaction *(homovératroyl-homopipéronylamine)* se dépose sous la forme d'une poudre, que l'on purifie par cristallisation dans l'alcool ou dans le xylène bouillants. On obtient ainsi de longues aiguilles incolores, fusibles à 136°. Rendement 9 gr. Analyse :

	Trouvé	*Calculé pour* $C_{19}H_{21}NO_5$
C	66,39	66,47
H	6,21	6,12

La réaction a lieu selon l'équation suivante :

$$CH_2{<}^{O}_{O}\,C_6H_3\,CH_2.CH_2.NH_3Cl + Cl.CO.CH_2\,C_6H_3{<}^{OCH_3}_{OCH_3} + 2KOH$$

Chlorhydrate d'homopipéronylamine — Chlorure homovératrique

$$= CH_2{<}^{O}_{O}\,C_6H_3\,CH_2.CH_2.NH.CO.CH_2\,C_6H_3{<}^{OCH_3}_{OCH_3} + 2KCl + 2H_2O$$

Homovératroyl-homopipéronylamine

2. *Déshydratation de l'homovératroyl-homopipéronylamine.*

3 gr. de ce composé sont dissous à chaud dans 20 gr. de xylène ; on ajoute 6-8 gr. d'anhydride phosphorique et on fait bouillir pendant une demi-heure. Le xylène est ensuite éloigné par décantation et le résidu dissous dans l'eau. En précipitant la solution par la potasse et en extrayant par l'éther, on obtient 1 gr. d'une base amorphe, fusible à 68-70° et donnant à l'analyse les chiffres suivants :

	Trouvé	*Calculé pour* $C_{19}H_{19}NO_4$
C	70,03	70,15
H	5,99	5,85

Cette base est la *1-vératryl-6.7-méthylène-dioxy-3.4-dihydroisoquinoline.* Elle prend naissance, conformément aux données recueillies précédemment sur les cas analogues, de la manière suivante :

CH_2 CH_2 $CH_2<{O \atop O}$ NH CO CH_2 OCH_3 OCH_3 = CH_2 CH_2 $CH_2<{O \atop O}$ N C CH_2 OCH_3 OCH_3 + H_2O

La composition de cette base est la même que celle d'un alcaloïde naturel, la *nandinine*, découvert en 1885 par *J.-F. Eykman*[1] dans le *Nandina domestica*. Les propriétés des deux substances semblant aussi, autant qu'on en pouvait juger par la description très brève de l'alcaloïde, être fort voisines, il y avait présomption d'identité. M. le prof. Eykman a bien voulu, sur notre demande, mettre à notre disposition un échantillon de son produit. L'examen comparatif nous a montré que l'identité supposée n'existe pas; les réactions colorées des deux bases sont fort différentes, ainsi que la manière dont elles se comportent vis-à-vis des alcalis: tandis que la nandinine s'y dissout facilement, notre base y est complètement insoluble.

3. *Réduction de la base.*

Nous l'avons effectuée par le procédé habituel, au moyen de l'étain granulé et de l'acide chlorhydrique concentré. Il se dépose un chlorostannate cristallin, que l'on décompose par l'hydrogène sulfuré. On obtient ainsi la *vératryl-norhydrohydrastinine*

CH_2 CH_2 $CH_2<{O \atop O}$ NH CH CH_2 OCH_3 OCH_3

[1] *Recueil des Pays-Bas*, **3**, 196.

sous la forme de petites aiguilles incolores, presque insolubles dans l'eau et fusibles à 208-210°.

	Trouvé	*Calculé pour $C_{19}H_{21}NO_4$*
C	69,81	69,73
H	6,50	6,42

La vératryl-norhydrohydrastinine possède une saveur très amère; sa solution dans l'acide sulfurique concentré, brune en premier lieu, passe rapidement à froid au violet. Le réactif de Fröhde donne les mêmes colorations; celui de Mandelin engendre une couleur lilas, virant lentement au violet, puis au brun. Les sels cristallisent mal et ne présentent pas de points de fusion bien nets. Le chlorhydrate donne avec le nitrite de soude une nitrosamine bien caractérisée.

4. *Condensation avec le méthylal.*

La transformation de la vératryl-norhydrohydrastinine en hydroberbérine semblait pouvoir être réalisée au moyen de la réaction, décrite dans l'article précédent et permettant de passer des phényléthylamines aux tétrahydro-isoquinolines par l'action du méthylal. La vératryl-norhydrohydrastinine rentre, en effet, par une moitié de sa molécule dans le groupe des phényléthylamines substituées; elle devait donc se comporter, vis-à-vis du méthylal, d'une manière analogue à ses congénères, et fournir, par cyclisation et formation d'un second noyau azoté, la tétrahydro-berbérine. On se rendra aisément compte de la chose en considérant les schémas suivants :

NH_2, H_2C, H_2C + CH_2O = NH, H_2C, CH_2, H_2C + H_2O

Phényléthylamine — Tétrahydro-isoquinoline

$CH_2<{O \atop O}$ … CH_2, CH_2, NH, HC, H_2C, 1, 2, 6, OCH_3, OCH_3 $+ CH_2O =$ $CH_2<{O \atop O}$ … CH_2, CH_2, N, HC, CH_2, H_2C, OCH_3, OCH_3 $+ H_2O$

Vératryl-norhydrohydrastinine — Tétrahydro-berbérine

L'expérience a confirmé notre prévision; en chauffant pendant une heure au bain-marie une solution de 2 gr. de chlorhydrate de vératryl-norhydrohydrastinine dans 10 cm^3 d'acide chlorhydrique concentré, avec 2-3 gr. de méthylal, en évaporant ensuite à sec, reprenant par l'eau et précipitant par le carbonate de soude, nous avons obtenu 0,7 gr. d'une base incolore qui s'est montrée identique en tout point à l'hydroberbérine préparée par réduction de la berbérine. Analyse:

	Trouvé	*Calculé pour* $C_{20}H_{21}NO_4$
C	70,61	70,79
H	6,22	6,19
N	4,31	4,13

L'identité ressort des observations suivantes:

Le point de fusion de l'hydroberbérine «naturelle» est situé à 167,5°, celui de l'hydroberbérine synthétique à 168°. Le mélange des deux corps fond à 168°.

L'hydroberbérine naturelle se dissout dans l'acide sulfurique concentré avec une coloration jaune vif, qui devient rouge-brun à chaud. Elle donne avec le réactif de Mandelin une solution brun clair, qui vire peu à peu au rose. L'hydroberbérine de synthèse fournit des colorations identiques.

Les sels des deux bases, ainsi que leurs mélanges, présentent exactement les mêmes points de fusion:

	Hydroberbérine naturelle	Hydroberbérine synthétique	Mélange
Chlorhydrate . . .	212°	213-214°	212-214°
Picrate	193°	192°	192°
Iodométhylate . .	233-236°	234-236°	234-236°
Iodéthylate.	225-228°	226-228°	226-227°

La formation de l'hydroberbérine par condensation de la vératryl-norhydrohydrastinine avec le méthylal constitue le premier exemple du passage d'un alcaloïde du groupe de la papavérine à un alcaloïde du groupe de la berbérine. Il ne nous semble pas improbable que ce même passage s'effectue aussi dans la plante sous l'influence de l'aldéhyde formique et que le mode de formation naturel des nombreux alcaloïdes du type de la berbérine présente ainsi une analogie complète avec celui que nous avons réalisé *in vitro*.

Il n'en reste pas moins surprenant, à notre avis, que l'entrée du groupe CH_2, fourni par le méthylal, se fasse, dans la molécule de la norhydrohydrastinine, en position 2 et non en position 6 (voir le schéma ci-dessus) du noyau vératrique. Nous devons avouer que nous nous attendions à obtenir, au moyen de la réaction employée, une tétrahydro-*iso*-berbérine. Mais l'identité du produit avec la tétrahydro-berbérine étant hors de doute, et la position des méthoxyles dans cette dernière base ayant été établie avec certitude par les travaux de Faltis et par notre synthèse de l'oxyberbérine, il faut admettre que la condensation a réellement lieu selon l'équation que nous avons donnée.

Berbérine

La synthèse de l'hydroberbérine entraîne celle de la berbérine [1], puisque, ainsi qu'il a été rappelé plus haut, la première de ces bases a déjà été transformée en la seconde, par Hlasiwetz et Gilm d'abord, puis par plusieurs autres expérimentateurs. Nous avons tenu cependant à répéter l'opération avec notre produit de synthèse. En traitant ce dernier par l'acide nitrique dilué, ou par le brome en solution dans le sulfure de carbone, nous avons obtenu des sels jaunes, qui se sont montrés absolument identiques, par toutes leurs propriétés, au bromhydrate et au nitrate de berbérine naturelle. A partir de ces deux sels, nous en avons préparé une série d'autres (iodhydrate, chlorhydrate, bichromate, picrate), au sujet desquels nous avons pu faire la même constatation. Malheureusement,

[1] Elle entraîne aussi celle de la canadine.

tous ces corps se décomposent avant de fondre, de sorte que l'identification ne peut se baser ici, comme d'habitude, sur la comparaison des points de fusion des corps et de leurs mélanges. Les *picrates* font cependant une heureuse exception ; ils nous ont fourni les données suivantes :

Point de fusion du picrate de berbérine naturelle ...				239°
»	»	»	synthétique .	239-240°
»	de leur mélange..................			239-240°

Nous avons pu, en outre, reproduire avec les sels de berbérine synthétique toutes les réactions qui servent depuis longtemps à caractériser l'alcaloïde naturel : formation d'un periodure brun par l'iodure de potassium ioduré. combinaison cristallisée avec l'acétone, coloration rouge par l'eau de chlore. Enfin, en traitant le bromhydrate synthétique par la soude, nous avons obtenu une oxyberbérine (point de fusion 199°) identique à celle qui dérive de la berbérine naturelle.

Genève, Laboratoire de Chimie organique de l'Université.

TRANSFORMATIONS CHIMIQUES

DANS

LES SYSTÈMES GAZEUX COMPRIMÉS

PAR

E. BRINER et A. WROCZYNSKI†

CHAPITRE I

Considération générale sur l'action de la pression envisagée au point de vue chimique.

Les phénomènes chimiques, qui se manifestent dans la nature ou que le savant étudie au laboratoire, dépendent en général des conditions de température et de pression. Pendant longtemps, le chimiste, qui s'était borné à étudier ces phénomènes à la température ordinaire, s'est efforcé surtout de connaître ce qu'ils deviennent dans tout l'intervalle de températures dont il pouvait disposer. Chaque extension de cet intervalle, dû à de nouveaux perfectionnements, a amené une ample moisson de découvertes.

Ces recherches ont été si fécondes en résultats qu'elles ont fait négliger l'étude de l'autre facteur, la pression. Et pourtant, il y avait également lieu de se demander quelles influences

† M. le Dr A. Wroczynski, qui a été notre collaborateur pour la plus grande partie des expériences décrites dans ce mémoire, est décédé en février 1911, dans le Sud Tunisien, au cours d'une prospection dont on l'avait chargé. Qu'il me soit permis d'exprimer ici les profonds regrets que ce départ laisse à tous ceux qui ont pu apprécier à l'œuvre l'habile expérimentateur et l'excellent camarade qu'était ADAM WROCZYNSKI.

E. B.

exercent des variations de pression sur tous les phénomènes chimiques, observés d'habitude à la pression ordinaire; en particulier, de fortes élévations de pression n'étaient-elles pas de nature à faire apparaître des phénomènes nouveaux?

Il est vrai de dire qu'au point de vue expérimental, ces travaux sont incontestablement plus difficiles que ceux relatifs à l'action de la température. Sans doute, le chimiste a-t-il souvent hésité à s'engager dans ce nouveau domaine à cause des appareils compliqués et coûteux que de telles recherches nécessitent.

Grâce aux progrès de la technique expérimentale, ce champ d'investigation est devenu plus accessible et, de fait, ces dernières années, les recherches, mettant en action les pressions élevées, ont été plus nombreuses.

A titre documentaire, nous indiquons à la fin de ce mémoire quelques travaux ayant trait à l'action de la pression envisagée au point de vue chimique et physico-chimique; ces travaux renseigneront le lecteur que ce sujet intéresse sur les particularités de ces recherches et sur les résultats déjà acquis.

En examinant les phénomènes chimiques que provoquent les variations de pression, on est amené à distinguer très nettement l'action de la pression sur les systèmes en équilibre, de celle exercée sur les systèmes éloignés de leur état de stabilité maximum.

En tant que facteur de l'équilibre, le rôle de la pression a été clairement défini, et il peut être prévu qualitativement par la règle suivante : *La compression d'un système favorise la réaction qui est accompagnée d'une diminution de volume.* Cette règle n'est d'ailleurs qu'un cas particulier de la loi générale régissant les déplacements de l'équilibre, et formulée comme suit par Le Chatelier[1] : *Toute variation d'un facteur de l'équilibre amène une transformation du système qui tend à faire éprouver au facteur considéré une variation de signe contraire à celle qu'on lui a communiquée.* Quantitativement l'évaluation de cette action sera basée sur l'application des principes de la thermodynamique, qui conduira aux relations cherchées.

[1] *Recherches sur les équilibres chimiques.* Paris (1888), p. 210.

Parmi les phénomènes rentrant dans cette catégorie, citons, comme cas particulier intéressant au point de vue purement chimique, la formation réversible de combinaisons solides ou liquides à partir de produits gazeux : dans ces conditions, la combinaison ne prendra naissance et ne pourra, par conséquent, être étudiée que si la pression est supérieure à sa tension de dissociation,

Par exemple, le chlorure de phosphonium, découvert par Ogier[1], est un solide blanc qui, à la température de 0°, n'est stable que sous une pression supérieure à 7 atm.[2], aux pressions inférieures, il se dissocie en HCI et PH_3 : tels sont aussi le bromure et l'iodure de phosphonium, le carbonate et le sulfhydrate d'ammonium[2] qui sont stables à la température ordinaire à des pressions inférieures à la pression atmosphérique, de même que les nombreux chlorures ammoniacaux étudiées par Troost et par Isambert.

La formation des métaux-carbonyles, soit des composés de l'oxyde de carbone avec les métaux, mérite d'être signalée ici, bien que le caractère de réversibilité du phénomène ne soit pas très net. Le grand industriel Ludwig Mond a découvert toute une série de ces carbonyles (carbonyles de nickel, de cobalt, de fer, de molybdène et de ruthénium[4] et, pour la préparation de plusieurs d'entre eux, il a dû avoir recours à l'action de pressions relativement élevées. Ce chercheur a même basé sur la formation du nickel carbonyle un procédé, très élégant et très avantageux, permettant d'obtenir du nickel très pur directement à partir des minerais. Ce procédé industriel, utilisé dans les usines créées par L. Mond, et dans lequel on met à contribution une action chimique de la pression, est un exemple de plus des application dont peuvent être susceptibles les recherches effectuées dans ce domaine.

Si les déplacements de l'équilibre par la pression sont soumis

[1] *Bull. Soc. Chim.*, t. XXXII, p. 483.

[2] Briner. *J. Ch. phys.*, t. IV, p. 283 (1906).

[3] Isambert. *C. R.*, t. XCII, p. 919 ; t. XCIV, p. 958. Briner. *loc. cit.*

[4] La préparation de ces carbonyles a été décrite en détails dans plusieurs mémoires parus dans le *J. of the chem. Society*. — Voir un article d'ensemble à ce sujet dans la *Rev. Gén. des Sc.*, t. XX, p. 763 (1909).

à des lois précises, l'influence de la pression sur les systèmes éloignés de leur équilibre le plus stable sera moins facile à prévoir, car on ne peut appliquer ici les principes de la thermodynamique. La loi d'action des masses fait bien entrevoir un accroissement de la vitesse de réaction, due à l'élévation de la concentration des constituants par la compression, mais elle est incapable de nous renseigner complétement sur les états par lesquels passeront les systèmes comprimés, sur l'ordre de grandeur des pressions à faire intervenir, en un mot, sur les caractères spéciaux de l'évolution du système.

Soit, par exemple, un système comportant un seul constituant et éloigné de son état d'équilibre, tel que le gaz NO. Désignant par c la concentration, par n le nombre de molécules qui réagissent entre elles (soit l'ordre de la réaction), par v la vitesse de réaction et par K une constante, nous pourrons écrire, en vertu de la loi des masses :

$$v = Kc^n$$

et, comme la concentration est proportionnelle à la pression p, nous aurons, en désignant par K_1 une autre constante :

$$v = K_1p^n$$

Cette expression nous montre seulement que la vitesse augmentera avec la pression.

A la température ordinaire, NO est celui de tous les oxydes d'azote qui est le plus éloigné de l'équilibre le plus stable; quelle voie suivra-t-il pour atteindre l'état de stabilité maximum, jusqu'à quel point résistera-t-il à l'action de la pression? L'expérience seule pourra l'indiquer.

Il y avait donc lieu, comme cela a été fait pour l'action de la température, d'entreprendre des recherches systématiques destinées à préciser le rôle de la pression. Plusieurs expérimentateurs, entre autres Spring[1], avaient observé certaines réactions chimiques dans des systèmes solides soumis à la compression. Mais, tenant compte de la loi des masses, c'est l'augmentation de concentration des constituants d'un système qui détermine l'accroissement de la vitesse de réaction, et cet accroissement

[1] *Loc. cit.*

sera d'autant plus grand que le système sera plus compressible. Il était ainsi à prévoir qu'une compression se montrerait la plus efficace, au point de vue chimique, dans les systèmes gazeux, autrement plus compressibles que les systèmes condensés.

C'est donc au système gazeux que nous nous sommes adressés dans les recherches que nous avons entreprises dans cette direction, et dont la plus grande partie a déjà été exposée dans un mémoire sur « les réactions chimiques dans les systèmes gazeux fortement comprimés »[1]; nous ferons d'ailleurs beaucoup d'emprunts à ce mémoire et nous y renvoyons le lecteur désireux de connaître le détail des expériences.

Parmi les systèmes gazeux, nous avons choisi ceux qui renferment le plus d'énergie disponible et qui sont, par conséquent, très loin de leur état d'équilibre; de ce fait, ces systèmes doivent plus que les autres être aptes à subir une transformation chimique lorsqu'ils sont fortement comprimés.

Mais, même en se restreignant à l'étude des systèmes répondant à ces conditions, il fallait s'attendre, d'après quelques essais préliminaires[2], à la nécessité de faire appel à des pressions relativement considérables. Pour soumettre les systèmes gazeux à l'action plus ou moins prolongée de ces pressions, nous avons dû avoir recours à une technique un peu spéciale, sur laquelle nous croyons utile de donner quelques renseignements dans le chapitre suivant.

Chapitre II

Méthodes de travail

Dans la compression des systèmes gazeux, nous avons utilisé deux procédés: le premier consiste à condenser les gaz constituants, du mélange dans un tube à parois épaisses, immergé dans l'air liquide ou dans un autre gaz liquéfié. Lorsque la

[1] *J. Chem. phys.*, t. IX, p. 105 (1911).

[2] Au cours des recherches inédites, Briner et Cardoso ont soumis plusieurs systèmes, éloignés de leur état d'équilibre le plus stable, à des pressions de l'ordre de 50 atmosphères, sans observer de réactions chimiques.

quantité condensée est suffisante, on ferme le tube soigneusement au chalumeau et on le laisse revenir à la température ordinaire ;[si celle-ci est supérieure au point critique du mélange, la pression dans le tube sera d'autant plus élevée que le remplissage sera plus complet. Il est clair que, par cet artifice, on obtiendra des pressions très élevées ; ainsi, en fermant de cette façon un tube à peu près complètement rempli d'air liquide, on réalisera, après réchauffement, des pressions qui ne seront pas éloignées de 1000 atmosphères. Toutefois, comme nous n'avons jamais rempli nos tubes plus qu'aux deux tiers, les pressions atteintes dans nos essais n'ont probablement pas dépassé 400 à 500 atmosphères. Ce procédé permet évidemment aussi de soumettre à des pressions élevées des systèmes gazeux. constitués, à la température ordinaire, par des gaz liquéfiés ou des liquides ; il suffira pour cela de porter le tube au-dessus du point critique du système qu'il contient. Il convient naturellement, dans ces essais, de s'entourer de toutes les précautions nécessaires, car les tubes font fréquemment explosion.

L'avantage de cette méthode réside dans le fait que les systèmes sont maintenus sous pression en l'absence de tout corps étranger susceptible de réagir sur eux ; mais elle présente par contre plusieurs inconvénients : il est impossible, en particulier, d'estimer, même avec une approximation grossière, les pressions agissantes ; l'ouverture de ces tubes et l'analyse des produits qu'ils renferment sont des opérations très difficiles et qui peuvent, de ce fait, entraîner des erreurs ; enfin, cette méthode ne convient pratiquement qu'aux gaz dont le point d'ébullition est supérieur à celui de l'air liquide, à cause de la difficulté de réaliser des températures inférieures à 190° dans les laboratoires ne possédant pas d'installation spéciale.

Le deuxième procédé utilisé consiste à comprimer le système gazeux, contenu dans un tube laboratoire, en injectant un liquide dans ce tube à l'aide d'une pompe suffisamment puissante. La pompe étant en relation avec un manomètre, on connaît la pression exercée sur le système ; par contre, le système se trouve en présence du liquide injecté par la pompe, en l'espèce le mercure, lequel, dans certains cas, peut entrer en réaction avec les constituants du système, ou avec les produits for-

més par l'action de la compression. L'opération terminée, il est facile de sortir le tube laboratoire du réservoir à compression, pour en extraire les produits gazeux solides ou liquides et les analyser.

Comme on le voit, ces deux méthodes se complètent l'une par l'autre en ce sens qu'elles possèdent chacune leurs avantages et leurs inconvénients ; en les appliquant successivement au même système, ainsi que nous l'avons fait, toutes les fois que cela nous a paru nécessaire, on arrive à dégager des essais les résultats que l'on obtiendrait à l'aide d'une seule méthode de compression, dénuée des inconvénients précités.

Le premier procédé, le plus simple, est suffisamment décrit par ce que nous en avons dit plus haut. il reste à donner quelques renseignements plus complets sur les compressions des systèmes gazeux, tels que nous les avons opérées à l'aide d'une pompe. La pompe à compression utilisée est du modèle bien connu proposé par Cailletet. Elle a été construite par la *Société Genevoise pour la Construction d'Instruments de Physique* et permet d'atteindre une pression de 1000 atmosphères. Au modèle courant, nous avons fait adjoindre un robinet supplémentaire, destiné à assurer une meilleure étanchéité, en isolant le corps de pompe (toujours sujet à de petites fuites) du réservoir à compression comprenant le tube laboratoire. Ce dernier reste naturellement toujours en relation avec le manomètre, qui est du type Bourdon et sort de la maison Schæffer et Budenberg. Avec ces dispositions, on a pu maintenir des systèmes gazeux sous des pressions de 600 à 800 atmosphères pendant plusieurs jours, en compensant, de temps à autre, les diminutions de pression extrêmement faibles qui se produisent (1 ou 2 atmosphères par jour) par une manœuvre convenable du piston plongeur.

Quant au tube laboratoire, nous lui avons donné deux formes, suivant les besoins de l'expérience ; pour les compressions à la température ordinaire, le tube laboratoire est constitué par une ampoule en verre mince. Celle-ci est terminée, à sa partie supérieure, par une pointe effilée, et, à sa partie inférieure, elle est soudée à un tube capillaire pourvu d'un repère. Après remplissage, ce tube laboratoire est entièrement immergé

dans le réservoir à compression, et, comme la pression s'exerce alors à la fois de l'intérieur et de l'extérieur sur les parois du tube, il n'y a dans ce mode opératoire aucun risque de rupture.

Dans l'autre disposition, la partie supérieure de l'ampoule (la partie inférieure restant identique) est soudée à un tube capillaire à parois épaisses, fermé à son extrémité; ce tube passe au travers d'une douille métallique, fixée au tube laboratoire par un mastiquage à la cire à cacheter ou à la glue marine. Comme dans les manipulations usuelles opérées avec la pompe Cailletet, la partie inférieure seule du tube laboratoire est immergée dans le tube à compression, le gaz est refoulé dans la partie capillaire supérieure qui, ne subissant la pression que de l'intérieur, se rompt fréquemment, lorsqu'on atteint des pressions élevées. Néanmoins, en utilisant du verre bien homogène, et par de bonnes dispositions dans les soudures, nous avons pu opérer, dans ces conditions, jusqu'à des pressions de 700 à 750 atmosphères.

L'avantage de cette dernière méthode réside dans l'observation directe des progrès de la réaction et dans la possibilité de porter le système gazeux durant la compression à des températures aussi élevées que le permettent le point de ramollissement et la résistance du verre. Pour le chauffage du tube capillaire dans lequel est refoulé le gaz, nous avons eu recours à un petit four électrique à résistance: ce four est constitué par un tube de fer, revêtu d'une feuille de papier d'amiante et sur lequel est enroulé, en spirale, un fil de nickel, parcouru par le courant; le tout est convenablement isolé par du carton d'amiante [1].

Lorsque les transformations provoquées par la pression, et persistant après la détente, puisqu'elles sont irréversibles, sont accompagnées de variations de volume, ce qui est presque toujours le cas, on apprécie, d'une façon très commode et très sensible le degré d'avancement de la réaction par les lectures de pression, à volume constant, avant et après la compression. Pour cela, le tube laboratoire étant rempli à une pression légè-

[1] Ce modèle de four, très facile à construire, est employé depuis plusieurs années déjà dans le laboratoire de chimie physique de Genève.

rement inférieure à la pression atmosphérique, on fait en sorte que le ménisque de mercure arrive au repère et on lit la pression au cathétomètre en notant la température. Le gaz est ensuite soumis à l'action de la pression, après quoi, le tube laboratoire étant replacé sur la cuve à mercure, on lit de nouveau la pression à volume constant. Ce mode de faire permet de déceler les variations de volume avec une très grande sensibilité, puisque, les pressions de remplissage étant voisines de 700 millimètres de mercure, on peut apprécier le 1/10 de mm. Pratiquement, il suffit de lire la pression au mm. pour caractériser la marche de la transformation.

Si la réaction n'est pas suivie de variations de volume, par exemple, la décomposition du cyanogène ou de l'acétylène en leurs éléments, les renseignements sur la nature de la transformation doivent être tirés des résultats de l'analyse ; mais il faudra alors procéder à des essais sur plusieurs échantillons pour se rendre compte de la marche du processus.

La compression terminée, les produits gazeux à analyser sont soutirés du tube laboratoire, mesurés dans une burette graduée, puis envoyés dans des réactifs appropriés ; on extrait ensuite du tube les produits solides ou liquides qui ont pu se former.

Quant aux opérations de purification des gaz par distillation fractionnée, elles sont trop connues pour que nous les décrivions ici. En ce qui concerne le remplissage du tube laboratoire avec un gaz seul, ou avec plusieurs gaz, en proportions déterminées, nous avons appliqué la méthode indiquée dans le mémoire de MM. Briner et Cardoso[1], auquel nous renvoyons pour les détails.

Chapitre III

Résultats des expériences.

Dans ce chapitre nous indiquerons succinctement les résultats obtenus au cours de cette première série de recherches. Celles-ci ont porté sur divers systèmes renfermant un ou deux

[1] *Loc. cit.*, p. 647.

constituants gazeux; nous exposerons d'abord les résultats relatifs à la compression de certains gaz purs, choisis parmi ceux qui, dans les conditions ordinaires de température et de pression, sont éloignés de leur état d'équilibre le plus stable.

Systèmes à 1 constituant.

Oxyde d'azote. — Tout d'abord, nous avons condensé dans quelques tubes, plongés dans l'air liquide, de l'oxyde d'azote parfaitement pur, en différentes quantités, de façon à obtenir des pressions différentes. Ce procédé ne permet pas, ainsi que nous l'avons signalé, une estimation suffisamment précise de grandeur de ces pressions, mais, par contre, dans le cas particulier, il présente sur l'autre méthode de compression l'avantage d'éviter le contact entre le mercure et les produits de décomposition de NO.

Après leur retour à la température ordinaire, le contenu de ces tubes était complètement incolore; mais, un jour après, on pouvait déjà reconnaître la *formation d'une vapeur bleu-verdâtre et même d'une petite goutte d'un liquide bleu-vert* dans ceux de ces tubes qui renfermaient beaucoup de NO, et dans lesquels régnait, par conséquent, le pression la plus forte; cette coloration est l'indice de la formation de l'anhydride nitreux N_2O_3.

Les colonnes de liquide ainsi formées augmentent de jour en jour et nous avons pu suivre, très commodément, par des lectures cathétométriques, la vitesse de la réaction. Après des observations faites pendant plusieurs mois, nous ne pouvons encore préciser dans quelles conditions cette réaction atteint sa limite; des expériences de durée beaucoup plus longue, actuellement en cours, nous permettront de nous prononcer d'une façon définitive à cet égard.

Nous avons ensuite soumis le gaz NO, toujours à la température ordinaire, à des pressions croissantes en utilisant la pompe de compression. En maintenant la pression à 280 atmosphères, nous avons constaté, après une dizaine d'heures, une contraction très appréciable et la coloration bleue de la phase gazeuse. Naturellement, le ménisque de mercure est fortement attaqué par l'anhydride azoteux formé; malgré cela, après un jour, il

s'est produit une goutte bleu-vert de N_2O_3 dans le haut du tube. En prolongeant la compression, la longueur de la goutte augmente, comme dans les expériences en tubes scellés; mais le N_2O_3 qui se forme également dans le voisinage du ménisque de mercure attaque celui-ci continuellement, si bien qu'à la longue la croûte blanche, résultant de cette attaque, obstrue le tube et rend par conséquent illusoire l'appréciation de la pression agissante. Pour créer un passage au mercure injecté, nous avons dû opérer une série de détentes et de compressions; c'est ainsi, qu'en renouvelant de temps à autre la surface du ménisque, nous avons pu soumettre le gaz NO à des pressions comprises entre 300 et 400 atmosphères, jusqu'à l'obtention d'une phase gazeuse ne présentant pas de coloration après plusieurs heures de compression.

L'analyse du corps solide blanc qui provient de l'attaque du mercure a montré qu'il était constitué par du nitrate et du nitrite de mercure et surtout par ce dernier: quant à la phase gazeuse, elle renfermait de l'oxyde d'azote, à côté d'un gaz non absorbable par la potasse, après son mélange avec l'oxygène, et qui est sans doute de l'azote.

Vu la complexité des réactions qui interviennent entre le mercure et les produits de la décomposition de NO par la pression, il ne nous semble pas possible de tirer de l'analyse des gaz des conclusions précises sur la nature de cette décomposition. Cette expérience apporte donc surtout une confirmation des essais effectués en tubes scellés en ce qui concerne la formation de N_2O_3.

Pour fixer approximativement l'ordre de grandeur des pressions qui provoquent cette réaction, nous avons opéré de même avec un tube contenant NO, mais à la pression de 150 atmosphères seulement. Nous n'avons enregistré, après quelques jours, qu'une faible diminution de volume et une légère attaque du ménisque. D'une façon générale, pour observer une décomposition nette, caractérisée par l'apparition d'une coloration bleue, nous avons toujours dû élever la pression jusqu'à 250 atmosphères environ.

Il restait encore à examiner l'influence de l'humidité sur cette réaction. A cet effet, nous avons comprimé NO dans un

tube laboratoire dans lequel le ménisque de mercure étaitsurmonté d'une petite couche d'eau. Celle-ci ne paraît pas favoriser sensiblement la décomposition de NO, puisque, après avoir maintenu la pression à 130 atmosphères pendant plus d'un jour, nous n'avons pu observer de contraction de la phase gazeuse; là encore, pour provoquer une transformation appréciable, il a été nécessaire de porter la pression à 250 atmosphères.

Les conclusions qui ressortent de cette série de recherches peuvent se résumer ainsi : *sous l'effet de pressions d'au moins 250 atmosphères et à la température ordinaire, le gaz oxyde d'azote se décompose d'une façon appréciable en donnant de l'anhydride nitreux*, selon toutes probabilités suivant le procesus : $NO = {}^1/_2 N_2 + {}^1/_2 O_2$; l'oxygène libéré réagit sur NO en excès d'après : $2 NO + {}^1/_2 O_2 = N_2O_3$; en sorte que la réaction résultante est : $3 NO = N_2O_3 + {}^1/_2 N_2$; cette décomposition est d'autant plus rapide que la pression est plus élevée.

Protoxyde d'azote. — Le protoxyde d'azote se comporte souvent comme l'oxyde d'azote : il est fortement endothermique et se décompose en ses éléments lorsque la température est suffisamment élevée [1]. Il est donc intéressant de le soumettre à l'action d'une compression prolongée.

Le protoxyde d'azote a tout d'abord été soumis à une pression de 800 atmosphères, à la température ordinaire, soit donc à l'état liquide; nous n'avons, dans ces conditions, reconnu aucune trace de décomposition. Nous avons ensuite, sans plus de succès, soumis le gaz N_2O pendant plusieurs heures à 600 atmosphères et à des températures allant jusqu'à 420°. Peut-être l'action de la pression se manifeste-t-elle aux températures supérieures à 420°, que nous n'avons pu malheureusement atteindre, car les tubes ne résistaient plus à la pression.

Ces expériences montrent donc que le protoxyde d'azote est beaucoup plus stable que l'oxyde d'azote, en ce qui concerne l'action de la pression; la condition nécessaire à sa décomposition semble être avant tout une température assez élevée pour désagréger la molécule. Néanmoins nous nous proposons de reprendre

[1] Berthelot, *C. R*, t. LXXVII, p. 1448 (1873); Meyer, *Pyrotechnische Untersuchungen*, p. 62; Hunter, *Z. phys. Chem.*, t. LIII, p. 441 (1905).

ces essais en utilisant des tubes capillaires résistant à des températures supérieures à celles auxquelles nous avons expérimenté.

Oxyde de carbone. — Le gaz CO n'est pas un composé endothermique, mais comme sa décomposition suivant :

$$2\,CO = CO_2 + 38{,}7\ \text{cal.}$$

est fortement exothermique et qu'il renferme de l'énergie disponible, il nous a semblé indiqué de le soumettre à l'action des pressions élevées. A la pression ordinaire, cette décomposition a d'ailleurs été observée par H. Sainte-Claire Deville [1] et par Berthelot [2] au rouge sombre ; elle est notablement accélérée par des catalyseurs tels que : charbon, poudres métalliques [3], etc., avec la poudre de nickel, en particulier, elle devient déjà appréciable un peu au-dessous de 300°. D'autre part, la courbe des produits pv (de la pression par le volume) en fonction de p, établie par Amagat [4] à la température ordinaire et jusqu'à 400 atmosphères environ, est absolument normale, ce qui démontre que dans ces conditions il n'y a aucune décomposition.

Après avoir maintenu l'oxyde de carbone à la température ordinaire sous des pressions allant jusqu'à 800 atmosphères, pendant plusieurs jours, nous n'avons pu constater de contraction permanente, même en présence d'amiante platinée. Il paraissait donc nécessaire d'opérer à des températures plus élevées.

Nous avons alors porté le gaz à la température de 320° environ, en nous assurant que le ménisque de mercure restait bien en dehors de la zone de chauffe pendant la compression ; ceci afin d'éviter toute action catalytique de la part du mercure [5].

[1] *C. R.*, t. LIX, p. 873 (1864).

[2] *Bull. Soc. Ch.*, 3e série, t. V, p. 567 (1891).

[3] Boudouard, *Ann. Ch. et Ph.*, 7e série, t. XXIV, p. 5 (1901). — Schenk et Zimmermann, *Ber.*, t. XXXVI, p. 1231 (1903). — Smits et Wolf, *Zeit. f. phys. Ch.*, t. XLV, p. 199 (1905).

[4] *Ann. Ch. et Phys.*, 5e série, t. XIX, p. 345 (1880).

[5] D'ailleurs, soit avant, soit au cours des compressions, le mercure n'a jamais pénétré dans la partie du tube capillaire où le gaz se trouvait refoulé.

A cette température de 320°, et déjà à la pression de 400 atm., il s'est produit, après une dizaine d'heures, une décomposition caractérisée par une légère contraction permanente. Pour accélérer la décomposition, nous avons alors opéré à la pression de 600 atmosphères, toujours à la même température. Dans ces conditions, après 20 heures, la dénivellation totale a atteint 67 mm, correspondant à une contraction de 10 %. L'analyse du gaz, après la compression, a montré qu'il contenait de l'acide carbonique, ainsi d'ailleurs qu'on pouvait s'y attendre.

Il résulte donc de ces mesures que l'oxyde de carbone subit, sous l'effet des pressions élevées et à la température de 320°, à laquelle ce corps pouvait être considéré comme stable, tout au moins en l'absence de catalyseur[1], *une décomposition caractérisée par une contraction permanente et la formation d'acide carbonique.*

Cyanogène. — En 1868, Troost et Hautefeuille ont reconnu que, dans la préparation du cyanogène par calcination du cyanure de mercure, il se forme d'autant plus de paracyanogène, isomère brun et solide du cyanogène, que la pression est plus élevée. Il y avait donc déjà là une indication sur le rôle spécial joué par la pression. Ces deux expérimentateurs ont établi, d'autre part, que la transformation du cyanogène en paracyanogène est réversible à partir de 500° environ, température à laquelle le paracyanogène manifeste déjà une tension de décomposition en cyanogène d'une cinquantaine de millimètres de mercure. Au-dessous de 500°, le cyanogène devrait donc se transformer intégralement en paracyanogène.

Le cyanogène est un composé fortement endothermique; sa chaleur de décomposition en ses éléments est de 71 cal. environ, et sa chaleur de transformation en paracyanogène de 50

[1] Sabatier et Senderens (*Bull. Soc. Chim.*, t. XXIX, p. 294, 1903) ont trouvé que la décomposition de l'oxyde de carbone, en présence de nickel, est totale vers 400°.

Quant à la stabilité de ce gaz aux températures très élevées, Jaquerod et Perrot (*C. R.*, t. CXL. p. 1542, 1905, et *Arch. Sc. phys. et nat.*, t. XX, p. 602, 1905) ont trouvé une densité normale un peu au-dessus de 1000°; elle n'a rien que de très naturel, puisque, par élévation de la température, la réaction $2\ CO = CO_2 + C$ devient réversible et progresse dans le sens endothermique, soit dans le sens de la formation de CO.

cal. A la température ordinaire, le cyanogène devrait se décomposer en (C_2 — N_2) système le plus stable, ou aussi en paracyanogène, système de stabilité intermédiaire.

Voici les résultats auxquels nous sommes parvenus et qui mettent bien en évidence l'action de la pression. Après avoir chauffé le cyanogène dans une ampoule, pendant 54 heures à 220° et sous la pression de $^3/_4$ atmosphère environ, nous n'avons pu constater la moindre trace de transformation. En opérant à la même température, mais à la pression de 300 atmosphères, nous avons mesuré, après six heures, une contraction de 10 %, et nous avons observé dans la partie chauffée du tube laboratoire un dépôt abondant de paracyanogène; en continuant dans ces mêmes conditions, nous avons constaté que la vitesse de réaction diminue notablement.

Quant aux produits de la réaction, l'analyse a montré que le cyanogène chauffé à 400°, à la pression ordinaire, ne subit que la transformation en paracyanogène; par contre, le tube laboratoire, dont le contenu a été maintenu à 220° et sous 300 atm., renfermait après l'opération 16 % d'azote. *L'action d'une forte pression a donc favorisé la formation du paracyanogène et provoqué, en outre, la décomposition du cyanogène en ses éléments.* Il est à remarquer que cette décomposition, n'étant pas accompagnée d'une variation de volume, ne peut être suivie, comme la production du paracyanogène, en mesurant ces contractions.

Nous avons également soumis le cyanogène à des pressions croissantes, aux températures inférieures à 220°, et nous avons constaté qu'à la longue il se formait aussi du paracyanogène, caractérisé par sa couleur brune, même aux températures et pressions voisines des valeurs critiques. Toutefois, il ne semble pas que pour ce corps la détermination des constantes critiques soit gênée par cette réaction, qui s'effectue très lentement et aboutit à la formation d'un corps solide[1].

Acétylène. — Comme le cyanogène, l'acétylène est un composé fortement endothermique et, ainsi que le montrent les essais relatés ci-après, *sa transformation chimique est également fortement accélérée par l'élévation de la pression.*

[1] Voir au sujet des constantes critiques du cyanogène : Cardoso et Baume, *C. R.*, t. CLI, p. 141 (1910).

L'acétylène a été chauffé dans une ampoule à 220° et à la pression atmosphérique pendant 26 heures, sans qu'il ait manifesté la moindre trace de décomposition; par contre, à la même température, mais à 300 atmosphères, nous avons mesuré, après 21 heures, une contraction de 10 %, qui est due, de même que la coloration brune apparue, à la formation de polymères.

Sur un autre échantillon, l'action de la pression s'est déjà manifestée, par une contraction et la formation de polymères, après une chauffe d'une dizaine d'heures à 100° et à 300 atm.

Méthane. — Comme on vient de le voir, l'acétylène, hydrocarbure non saturé et endothermique, subit une transformation chimique lorsqu'on le comprime fortement. Par contre, en tenant compte des considérations développées plus haut, on peut prévoir que le méthane, hydrocarbure saturé et fortement exothermique, ne sera pas affecté par l'élévation de la pression. En effet, ainsi que cela résulte des équations thermochimiques ci-dessous, aucune des transformations possibles ne dégage de l'énergie:

$$CH_4 = C + 2H_2 \quad - 21{,}2 \text{ cal.}$$
$$2CH_4 = C_2H_6 + H_2 \quad - 15{,}0 \text{ cal.}$$
$$2CH_4 = C_2H_4 + 2H_2 \quad - 45{,}1 \text{ cal.}$$
$$2CH_4 = C_2H_2 + 3H_2 \quad - 90{,}2 \text{ cal.}$$

D'ailleurs, il est bien connu que le méthane est également l'hydrocarbure qui résiste le mieux à l'élévation de température.

Malgré les résultats négatifs présumés, il nous a paru intéressant de soumettre le méthane à l'action prolongée de la pression. Nous l'avons comprimé à la température ordinaire, en nous servant de la méthode des tubes scellés, mettant ainsi à profit le fait que la température critique (—82°) de ce gaz est bien inférieure à la température ordinaire. D'après le degré de remplissage des tubes scellés, nous estimons que les pressions qui y régnaient étaient de l'ordre de 400 atm. environ.

Plus de trois mois après, nous n'avons constaté dans ces tubes aucun changement dénotant une réaction, laquelle dans ces conditions de pression et de température, eût été suivie de l'apparition d'un corps solide ou liquide, puisque le méthane est le seul hydrocarbure dont la température critique soit inférieure à 0°.

Systèmes à deux constituants

Oxyde d'azote-acide chlorhydrique. — Quand on condense un mélange de ces deux gaz dans un tube immergé dans l'air liquide, on voit se former un solide d'un rouge vineux, qui est sans doute un composé d'addition. Les premiers essais relatifs aux mélanges NO — HCl ayant été effectués par la méthode de compression en tubes scellés, c'est toujours sous la forme de ce corps solide rouge vineux que s'est condensé le mélange gazeux.

Nous avons rempli un certain nombre de tubes de mélanges en différentes proportions, et nous les avons laissés revenir à la température ordinaire. Pendant le réchauffement quelques-uns de ces tubes, dans lesquels la quantité de mélange condensé était trop grande, ont fait explosion. Pour rendre les observations plus aisées, pendant cette période de réchauffement, les tubes étaient placés dans des éprouvettes de verre contenant des substances desséchantes (chlorure de calcium ou acide sulfurique) destinées à éviter la formation de givre sur les parois extérieures.

Tout d'abord on observe la fusion du solide rouge en un liquide d'une coloration rougeâtre, qui s'atténue au fur et à mesure que la température s'élève. Le point critique du mélange atteint, — il se trouve, à en juger par les températures critiques des constituants, quelques dizaines de degrés au-dessous de 0°, — le ménisque disparaît, et il ne reste plus qu'une phase gazeuse parfaitement incolore. A la température ordinaire, d'après les quantités condensées, on peut estimer à plusieurs centaines d'atmosphères la pression qui règne dans le tube.

Sous l'action de cette pression, apparaît, après une heure environ, une coloration d'un rouge brun, dont l'intensité va croissant avec le temps. Enfin, après plusieurs jours, le tube étant toujours à la température ordinaire, on constate qu'il s'est formé deux liquides non miscibles, l'un rouge, l'autre jaune clair ; les quantités respectives de ces deux liquides augmentent ensuite de jour en jour, jusqu'à une certaine limite.

Comme cela résulte de divers essais, le liquide rouge est du chlorure de nitrosyle, et le liquide jaune clair, de l'eau avec la nuance caractéristique qu'elle prend en réagissant sur du chlorure de nitrosyle en excès. D'ailleurs, ces deux couches peuvent être reproduites en réalisant, ainsi que nous l'avons fait, dans un tube, scellé après coup, un mélange renfermant H_2O et NOCl en excès.

A propos de ces résultats, il convient de signaler les modes d'action totalement différents d'une élévation de pression et d'un abaissement de température : ce dernier provoque la formation d'un composé d'addition, à la suite d'une réaction réversible, puisque ce composé disparaît de nouveau lorsque la température s'élève. L'élévation de la pression, par contre, engendre un composé de substitution, et le phénomène est irréversible, car le système $NOCl - H_2N_2$, qui a pris naissance, est incapable de reproduire le système primitif NO — HCl par diminution de pression.

Pour nous rendre compte de l'ordre de grandeur des pressions qui provoquent ces réactions, nous avons étudié le système NO — HCl en utilisant le compresseur de Cailletet et comprimant à 300 atm. et à la température ordinaire un mélange composé de trois volumes de NO et un volume de HCl ; nous avons vu, après 30 minutes environ, la phase gazeuse se colorer en rouge brun, ce qui caractérise la formation du chlorure de nitrosyle. Grâce au faible diamètre du tube de compression, le chlorure de nitrosyle formé peut parfaitement subsister dans le haut de la phase gazeuse. D'ailleurs, après un certain temps le mercure du ménisque est complètement transformé en chlorure, qui protège la phase gazeuse contre toute attaque de la part du mercure, si bien qu'au-dessus de la couche de chlorure de mercure, nous avons pu observer le chlorure de nitrosyle à l'état liquide. En outre, comme nous l'avons constaté en élevant la pression jusqu'à 700 atm. environ, la vitesse de formation du chlorure de nitrosyle croît notablement avec la pression, Cet essai confirme donc pleinement les observations faites par nous sur les tubes scellés, en ce qui concerne l'action de la pression sur le système NO — HCl.

Tous ces phénomènes, assez surprenants de prime abord,

s'expliquent très aisement par la décomposition sous l'effet de la pression, telle qu'elle a été démontrée plus haut, de l'oxyde d'azote suivant :

$$3\,NO = N_2O_3 + \frac{1}{2}\,N_2.$$

L'anhydride nitreux, ainsi formé, réagit sur HCl suivant :

$$N_2O_3 + 2\,HCl = 2\,NOCl + H_2O\ ^{1},$$

ce qui conduit à la réaction globale :

$$3\,NO + 2HCl = 2\,NOCl + H_2O + \frac{1}{2}\,N_2.$$

Si la compression a lieu en présence de mercure, ce corps attaque NOCl et N_2O_3 et il ne reste plus dans la phase gazeuse, ainsi que l'a prouvé l'analyse, que de l'azote et du gaz NO non décomposé.

Azote-hydrogène. — La compression du composé andothermique NO a pour effet, comme on l'a vu, de mettre en liberté de l'azote, il nous a paru intéressant d'examiner jusqu'à quel point l'élévation de pression pourrait, inversement, favoriser l'entrée de l'azote, dans une combinaison exothermique. Nous avons dans ce but soumis à la compression un mélange constitué par trois volumes d'hydrogène et un volume d'azote, soit les proportions dans lesquelles ces deux éléments forment de l'ammoniaque, suivant la réaction exothermique :

$$/_2\,H_2 + \frac{1}{2}\,N_2 = N_2 + 12\ \text{col.}$$

Dans ce cas, nous n'avons pas constaté de modifications chimiques à la température ordinaire, bien que nous ayons maintenu le mélange à des pressions voisines de 900 atm. pendant plusieurs heures. Il est possible cependant que des pressions plus élevées, ou des pressions du même ordre, mais agissant à des températures supérieures à la température ordinaire, provoquent la formation d'ammoniaque, cela semble résulter, en particulier, du travail de Haber[2], qui a eu recours à l'action combinée de la température, de la pression et d'un catalyseur.

Oxyde de carbone-acide chlorhydrique. — La compression de ce système présentait un certain intérêt, car il était peut-être possible, de cette manière, d'obtenir le chlorure de for-

[1] Cette réaction a d'ailleurs été étudiée dans ce laboratoire en tant que méthode de préparation de NOCl.

[2] *Loc. cit.*

myle HCOCl, dont on suppose la formation, comme composé intermédiaire instable dans plusieurs réactions de la chimie organique, entre autres dans l'importante synthèse des aldéhydes par la méthode de Gattermann-Koch. Mais le mélange, en proportions égales, de ces deux gaz, soumis à une température de 320° et à une pression de 500 atm. pendant plusieurs jours, n'a pas donné lieu à une transformation appréciable.

Hydrogène-oxygène. – En raison de son apparente simplicité, le mécanisme de la formation de l'eau à partir de ses éléments a tenté de nombreux chercheurs, parmi lesquels : vant' Hoff[1], V. Meyer[2], Hélier[3], Bodenstein[4], etc. Mais tous ces expérimentateurs sont arrivés à des résultats très discordants, démontrant ainsi que cette réaction est, en réalité, beaucoup plus complexe qu'on ne le pensait. Leurs essais ayant été effectués aux pressions voisines de la pression atmosphérique, il nous a paru intéressant de soumettre le mélange de gaz tonnant aux actions combinées de la température et des pressions élevées.

Nous avons ainsi constaté que la marche de la réaction est trop irrégulière pour que l'on puisse songer à lui appliquer les relations de la cinétique chimique. Cependant, pour nous faire une idée approximative de l'action de la pression, nous avons tiré des contractions totales obtenues après plusieurs jours, les vitesses moyennes quotidiennes. Voici quelques résultats :

En opérant dans des tubes de verre, à 400° et 300 atm., la proportion combinée quotidienne a été de 1,2 %; à la pression de une atm. et toujours à 400°, elle a été de 1,1 %, soit à peu près la même. C'est donc là une réaction qui aurait dû être fortement accélérée par l'élévation de pression et qui, à première vue, n'est presque pas influencée par ce facteur. Mais, en examinant la question de plus près, on reconnaît cependant, l'existence d'une action accélératrice de la pression, dont les effets sont, il est vrai, masqués par l'action catalytique des parois du récipient. Il est bien évident, en effet, que la com-

[1] *Etudes de dynamique chimique*, Amsterdam (1884).

[2] *Lieb. An.*, t. CCLXIX, p. 49 (1892). *Ber.*, t. XXV; p. 622 (1892); *ibid.*, t. XXVIII, p. 2804 (1895).

[3] *An. Ch. et Phys.* (7), t. X, p. 521 (1897).

[4] *Z. Phys. Chem.*, t. XXIX, p. 664.

pression d'un système a pour conséquence de diminuer la surface de parois avec laquelle il est en contact. Ainsi dans nos essais, le mélange comprimé à 300 atm. est en présence de 4 cm.^{2} de parois, tandis que la même masse du mélange se trouve, à la pression atmosphérique, en contact avec 80 cm^2 de parois. Si la masse comprimée avait été en présence de 80 cm^2 de parois, la vitesse eût certainement été beaucoup plus grande. *Ces résultats montrent que, dans certains cas, l'action de la pression peut être plus ou moins masquée par l'influence catalytique des parois du récipient contenant le système comprimé.*

Anhydride sulfureux-oxygène. — A cause de son importance pratique, la formation de l'anhydride sulfurique à partir du gaz sulfureux et de l'oxygène a fait l'objet de nombreuses recherches de cinétique chimique ; mais les expérimentateurs ont opéré, en général, aux pressions voisines de la pression atmosphérique et aux températures supérieures à 400°, où la réaction, en présence de certains catalyseurs, devient assez rapide pour être appliquée industriellement.

Pour mettre en évidence le rôle de la pression, nous avons d'abord comprimé des mélanges d'oxygène et de gaz sulfureux à la température ordinaire. Dans ces conditions, en raison de la liquéfaction de SO_2, le système est constitué par une phase gazeuse, contenant presque exclusivement de l'oxygène, en présence de SO_2 liquide ; après deux jours de compression à 500 atm., il s'est produit de l'anhydride SO_3, mais en petites quantités. Pour éviter la formation d'une phase liquide, dans le système comprimé, il convenait donc d'opérer à des températures plus élevées.

Nous donnons ci-après les résultats d'une série d'essais effectués à la température de 200°, qui est supérieure à la température critique de SO_2, et portant sur des mélanges renfermant $^2/_3$ O_2 et $^1/_3$ SO_2 :

	Durée en jours	Températ.	Pressions en atm.	% de SO_2 combiné
Exp. 1. — Le mélange est comprimé dans un tube de verre.	5	200°	200	100 %
Exp. 2. — Le mélange est contenu dans une ampoule de verre	5	200°	0,8	6 %
Exp. 3. — Dans l'ampoule de verre, le mélange est en présence d'amiante platinée	5	200°	0,8	20 %

Nous avons constaté que, dans cette réaction, les parois exercent aussi une action ; mais, ainsi qu'on le voit, c'est la compression qui joue ici le rôle prépondérant : *elle accélère fortement la vitesse de réaction.*

Systèmes divers. — Dans ce paragraphe nous exposerons les résultats, d'ordre tout à fait qualitatif, obtenus en appliquant la méthode de compression en tubes scellés à des mélanges de NO avec différents gaz, et également à quelques systèmes constitués par des mélanges liquides à la température ordinaire ; ces mélanges ont été choisis parmi ceux qui renferment le plus d'énergie disponible.

Système NO-SO_2. — Après avoir ramené le tube à la température ordinaire, il s'est formé, au bout de quelques heures et sous l'action de la pression, un corps solide, vert pâle. Ce corps, une fois formé, est stable à la pression ordinaire et résulte, par conséquent, d'une réaction irréversible ; en outre, traité par l'eau, il donne lieu à un dégagement de vapeurs nitreuses. Ces propriétés nous autorisent à le considérer comme un anhydride mixte, formé à partir de N_2O_3, qui provient lui-même de la décomposition de NO.

Système NO-CH_3Cl. — Après quelques heures, nous avons constaté l'apparition dans le tube d'un liquide vert, qui provient sans doute de l'action de N_2O_3, formé sur CH_3Cl.

Système HCl-SO_2. — A la température ordinaire, le mélange est liquide dans le tube scellé ; après l'avoir soumis à l'action des pressions élevées en le maintenant pendant un certain temps au-dessus de son point critique, le contenu du tube est resté trouble.

Système SO_2-CH_3Cl. — Mêmes phénomènes que pour le système précédent.

Système constitué par des mélanges de liquides et soumis à l'action de la pression en les portant au-dessus de leur point critique. — Système tétrachlorure de carbone-benzène : formation d'acide chlorhydrique et d'un dépôt de carbone, probablement à la suite de la réaction fortement exothermique :

$$3CCl_4 + 2C_6H_6 = 12HCl + 15C + 230 \text{ cal.}$$

Système $C_2H_5Cl + CS_2$, formation d'un précipité noir.

Système $CS_2 + CH_3CO_2C_2H_5$, coloration du liquide en jaune.

Système $(C_2H_5)_2O - C_2H_2Cl$, formation d'un trouble blanc, etc.
Nous n'insisterons pas sur ces essais, qui seront repris ultérieurement, et qui démontrent l'extrême variété des phénomènes provoqués par l'action de la pression.

Conclusions

Des résultats obtenus dans cette première série de recherches, nous pouvons dégager déjà quelques conséquences suffisamment générales pour caractériser l'action chimique de la pression sur les systèmes gazeux éloignés de leur état d'équilibre le plus stable.

Si, en général, l'élévation de pression est de nature à favoriser l'établissement d'un système chimique plus stable, il n'est pas possible, jusqu'à présent du moins, de formuler cette action par des relations précises, en prenant comme base les quantités d'énergie disponible et les valeurs des pressions agissantes. Comme on l'a vu, en effet, dans certains cas, où la quantité d'énergie disponible est relativement grande (système N_2O), une compression forte et prolongée ne produit aucune action appréciable. A quoi tient cette complexité ?

La manière différente dont se comportent, à l'égard de la pression, deux oxydes d'azote, NO et N_2O, tous deux fortement endothermiques, prouve que la constitution de l'édifice moléculaire doit également jouer un rôle important. De ce fait, l'action de la pression possède un caractère de spécificité qui laisse le champ entièrement ouvert aux expériences.

Un autre élément de complication réside dans l'influence catalytique des parois, qui s'exerce avec plus ou moins d'intensité et qui, quelquefois, est prépondérante (système hydrogène-oxygène). C'est sans doute à des actions de contact que tiennent les nombreuses irrégularités que nous avons observées dans la marche de certaines réactions (décompositions de l'oxyde d'azote, du cyanogène, de l'acétylène, etc.) : celles-ci paraissent parfois atteindre une certaine limite, alors que l'équilibre le plus stable n'est pas encore réalisé. Ces irrégularités sont en rapport avec la question des « faux équilibres

chimiques », et nous reviendrons, dans un autre mémoire, sur l'explication qu'il convient d'en donner.

A défaut d'une règle générale, il importe cependant de relever un certain nombre de points d'une façon toute spéciale.

Les réactions chimiques qui interviennent, ainsi que nous l'avons vu, dans certains gaz ou mélanges gazeux, soumis à l'action de pressions suffisamment élevées, démontrent qu'il faudra souvent tenir compte de cette action chimique dans l'étude de problèmes, que l'on serait tenté d'envisager à un point de vue purement physique, comme la détermination de la compressibilité ou des constantes critiques des gaz ou de leurs mélanges.

Il serait illusoire, par exemple, d'étudier, sous des pressions élevées, la compressibilité de l'oxyde d'azote à la température ordinaire, et celle de l'oxyde de carbone à 300°, puisque ces corps subissent des décompositions. Tout aussi inutiles seraient les tentatives de mesure des constantes critiques de certains corps ou systèmes de corps pour lesquels une pression de l'ordre de grandeur, de la pression critique, peut provoquer l'établissement de systèmes plus stables. Plusieurs expérimentateurs ont été arrêtés par des phénomènes dus à l'action de la pression, telle que nous l'avons caractérisée. Rappelons, à ce sujet, les recherches de Ph.-A. Guye, Mallet et Radice [1] qui, en déterminant les constantes critiques des liquides organiques, ont constaté qu'un très petit nombre de corps organiques restent stables jusqu'au point critique ; or, la plupart des substances organiques renferment de l'énergie disponible. Citons également, à titre d'exemple de système constitué par deux corps, le système $(CH_3)_2O — HCl$, dont Kuenen [2] a tenté de déterminer les compressibilités et les constantes critiques. A une certaine température, et sous une certaine pression, cet expérimentateur a constaté la formation d'eau et de chlorure d'éthyle. Celle-ci résulte sans doute de la réaction :

$$(CH_3)_2O + HCl = C_2H_5Cl + H_2O + 28 \text{ cal.}$$

qui, par sa tonalité thermique, dénote en effet que ce système renferme de l'énergie disponible.

[1] *Arch. Sc. phys. et nat. de Genève*, t. XIII, p. 30, 1902.

[2] *Z. phys. Ch.*, t. XXXVII, p. 485, 1901.

En ce qui touche la possibilité de ces réactions pertubatrices, il semble donc bien, à la suite de nos recherches, que l'on puisse formuler le principe suivant : *Dans l'étude des compressibilités de systèmes gazeux aux pressions élevées ou dans la détermination des constantes critiques de ces systèmes, il faut toujours prévoir, à partir de certaines températures, la possibilité de réactions chimiques, toutes les fois que le système n'a pas atteint son état d'équilibre le plus stable.*

Nous croyons utile de revenir ici sur les réactions auxquelles a donné lieu le système NO — HCl (p. 116) et qui présentent peut-être le caractère d'une certaine généralité, car elles mettent en évidence les phénomènes que l'on peut observer, si l'on élève la concentration d'un système par condensation, à l'aide d'une élévation de pression ou d'un abaissement de température. L'abaissement de température a conduit à la formation d'un composé d'addition, à la suite d'un phénomène réversible : la compression a fourni des réactions de substitution, par un phénomène irréversible, tendant à l'établissement du système de stabilité maximum.

Envisageant maintenant les élévations de température et de pression, qui, toutes deux, sont de nature à favoriser la marche d'un système vers un état d'équilibre plus stable, il convient de signaler les effets, notablement différents, que peuvent provoquer ces deux modes d'action. Soit, par exemple, l'oxyde d'azote : Portons la température à 700° environ, NO se décomposera totalement en ses éléments, et, après retour à la température ordinaire, nous nous trouverons en présence du système $N_2 + O_2$.

En élevant, par contre, la pression à la température ordinaire, comme nous l'avons fait, nous engendrerons un système constitué par un mélange d'azote, d'oxyde d'azote et d'oxydes supérieurs d'azote ; nous obtenons donc ainsi un système fortement condensé. Suivant les cas, l'effet d'une compression se distinguera par conséquent nettement de celui résultant d'une élévation de température ou de l'action d'un catalyseur.

Nous exprimons nos vifs remerciements à la Société auxiliaire des Sciences et des Arts de Genève, de la subvention

qu'elle nous a généreusement allouée, pour la construction du compresseur utilisé.

Nous tenons à remercier également ici M. le prof. Ph.-A. Guye, Directeur des Laboratoires de chimie technique et théorique de l'Université, des nombreuses facilités qu'il nous a accordées pour l'exécution de nos recherches.

Laboratoires de chimie technique et théorique de l'Université de Genève.
Juillet 1911

Liste de quelques travaux ayant trait à l'action de la pression, envisagée au point de vue chimique et physico-chimique.

E.-H. Amagat. Sur la compressibilité des gaz sous de fortes pressions. *Ann. de ch. et phys.* (5), t. XIX, p. 435; t. XXII, p. 353 (1881); (6), t. XXII, p. 68 (1893). Bien que ces travaux aient été exécutés à un point de vue plutôt physique, nous croyons devoir les signaler ici à cause des nombreux et précieux renseignements qu'il fournissent sur la technique expérimentale des recherches aux pressions élevées.

W. Spring. Union des corps par la pression. *Ann. de ch. et phys.* (5), t. XXII, p. 171 (1871). Sur la décomposition de quelques sulfates acides par la compression. *J. de ch. phys.*, t. II, p. 498 (1904). Modifications subies par quelques sulfates à la suite d'une compression. *Arch. Sc. phys. et nat.*, t. XXIII, p. 229 (1907).

Th. W. Richords et ses élèves ont étudié les variations subies par les propriétés des corps liquides et solides aux fortes pressions. Voir *Z. phys. Ch.*

G. Tammann et ses élèves ont également effectué toute une série de travaux dans cette direction. *C. Kristallisieren und Schmelzen*, Leipzig (1903) et plusieurs mémoires parus dernièrement dans la *Z. phys. Ch.*

Cohen. Etudes piézochimiques. *Z. phys. Ch.*, t. LXVII, p. 1, 432 et 513 (1909); t. LXIX, p. 102 (1910).

Ipatieff. Déplacement des métaux de leurs sels par l'hydrogène comprimé. *Ber. d. deut. chem. Ges.*, t. XLII, p. 2078 (1909). Réactions catalytiques à hautes températures et pressions. *Ibid.*, t. XLII, p. 2089 (1909).

Haber. Sur un procédé industriel de préparation de l'ammoniaque par action combinée de la pression et de substances catalytiques sur le mélange hydrogène-oxygène. *Z. f. Electroch.*, t. XVI, p. 245 (1910).

Briner. Recherches sur quelques équilibres chimiques. *J. Ch. phys.*, t. IV, p. 266 (1906). Compressibilite de mélanges de gaz susceptibles de réagir entre eux pour former des composés liquides et gazeux. *Ibid.*, t. IV, p. 476 (1906).

Briner et Cardoso. Recherches sur la compressibilité d'un mélange gazeux qui donne lieu à une combinaison. *Ibid.*, t. VI, p. 641 (1908).

Briner et Wroczinski. Réactions chimiques dans les systèmes gazeux fortement comprimés. *Ibid.*, t. IX, p. 105 (1911).

SUR LES TRAJECTOIRES

DES CORPUSCULES ÉLECTRISÉS DANS L'ESPACE

sous l'action du magnétisme terrestre

avec application aux aurores boréales, etc.

(Second mémoire [1])

PAR

Carl STÖRMER

(Suite [2])

---

16. *Discussion des espaces dont les trajectoires ne peuvent sortir.*

Nous allons maintenant faire la discussion des espaces dont les trajectoires ne peuvent sortir. Pour cela, il suffit de discuter les parties du plan méridien parcourues par les courbes :

$$M\frac{R^2}{r^3} + \frac{i}{5}\sqrt{AR}\,f(\kappa) + C - H_0\varrho_0 kR = o$$

grand k varie dans l'intervalle de -1 à $+1$.

D'après leurs définitions, R et r ne seront jamais négatifs.

D'après les résultats du § 15, il suffit pour les applications de s'en tenir aux valeurs négatives de C.

Faisons d'abord quelques remarques sur la forme des espaces en question à des distances très grandes de l'origine. Pour faire ressortir l'analogie avec le cas d'un aimant élémentaire, supposons d'abord

$$i = o$$

[1] Pour le premier mémoire, voir *Arch. des Sc. phys. et nat.*, Genève, 1907, t. XXIV, p. 5, 113, 221, 317.

[2] Voir *Archives,* août 1911, p. 177, septembre, p. 190, octobre, p, 277.

et substituons

$$R = \sqrt{\frac{M}{H_0\rho_0}}\,R_1, \quad z = \sqrt{\frac{M}{H_0\rho_0}}\,z_1, \quad r = \sqrt{\frac{M}{H_0\rho_0}}\,r_1$$

$$C = 2\gamma\sqrt{M.H_0\rho_0}$$

ce qui donne

$$\frac{R_1^{\,2}}{r_1^{\,3}} + 2\gamma - kR_1 = o,$$

équation traitée dans mon mémoire de Genève 1907. On se rappellera que les espaces Q_γ dont les trajectoires ne peuvent sortir, étaient obtenues en faisant varier k entre -1 et $+1$ et en faisant ensuite tourner la partie du plan méridien ainsi obtenue autour de l'axe des z.

Supposons maintenant

$$i > o$$

et soit r infiniment grand ; alors

$$\varkappa = \frac{2\sqrt{AR}}{\sqrt{r^2 + 2AR + A^2}}$$

sera infiniment petit, avec valeur principale

$$\frac{2\sqrt{AR}}{r}$$

et d'après la série pour $f(\varkappa)$, la valeur principale de cette fonction sera

$$\frac{\pi}{2}\,\frac{AR\sqrt{AR}}{r^3}$$

En se bornant à cette valeur principale, l'équation se réduit à

$$M'\frac{R^2}{r^3} + C - H_0\rho_0 kR = o$$

où

$$M' = M + \frac{1}{10}\pi A^2 i$$

Posons ici

$$R = \sqrt{\frac{M'}{H_0\rho_0}}\,R_2, \quad z = \sqrt{\frac{M'}{H_0\rho_0}}\,z_2, \quad r = \sqrt{\frac{M'}{H_0\rho_0}}\,r_2$$

$$C = 2\gamma'\sqrt{M'.H_0\rho_0}$$

ce qui donne

$$\frac{R_2^{\,2}}{r_2^{\,3}} + 2\gamma' - kR_2 = o$$

équation de la même forme que l'équation correspondant à $i = o$, mais où

$$R_2 = \sqrt{\frac{M'}{M}}\, R_1, \quad z_2 = \sqrt{\frac{M'}{M}}\, z_1, \quad r_2 = \sqrt{\frac{M'}{M}}\, r_1$$

$$\gamma' = \sqrt{\frac{M}{M'}}\, \gamma$$

On aura donc le résultat :

En supposant i croissant à partir du zéro et les autres constantes fixes, l'espace dont la trajectoire ne peut sortir et qui coïncide pour $i = o$ avec l'espace appelé Q_γ, se transformera à mesure que i croît et cela de telle sorte que à des distances infiniment grandes, elle sera homologue avec l'espace $Q_{\gamma'}$, où

$$\gamma' = \frac{\gamma}{\sqrt{1 + \frac{i\pi A^2}{10 M}}}$$

et sera agrandie dans le rapport

$$\sqrt{1 + \frac{i\pi A^2}{10 M}} \quad \text{à } 1.$$

Cela posé, considérons les parties à une distance finie de l'origine et faisons varier C entre $-\infty$ et zéro.

D'abord il faut dire quelque chose des faisceaux de courbes obtenus en faisant varier k ou C seuls.

Si C est négatif, la courbe

$$M \frac{R^2}{r^3} + \frac{i}{5}\sqrt{AR}\, f(\kappa) + C - H_0 \varrho_0 k R = o$$

passe par l'origine, sans avoir d'autres points communs avec l'axe des z ; en effet $R = o$ entraîne $r = o$.

Cela posé, supposons k variable et les autres constantes fixes, ce qui donne une infinité de courbes.

Soient T_1 et T_2 deux d'entres elles correspondantes à $k = k_1$ et à $k = k_2$. Ou bien elles ne se coupent pas, ou bien elles se coupent à l'origine. D'autre part T_1 et T_2 sont différentes pourvue que $k_1 \gtrless k_2$. Donc, si k varie continuellement en croissant dans une intervalle donnant des courbes réelles, la courbe décrit une aire dans le plan des R, z en ne passant jamais deux fois par le même point, à l'exception de l'origine qui est un point commun de toutes les courbes.

De la même manière, si C croît toujours à partir de — ∞ à zéro, les autres constantes restant fixes, la courbe varie aussi en ne passant jamais deux fois par le même point, l'origine seule exceptée

Cela posé, soit d'abord C négatif et *infiniment grand*; l'équation

$$C = -M\frac{R^2}{r^3} - \frac{i}{5}\sqrt{AR}\,f(\varkappa) + H_0\varrho_0 kR$$

peut alors être satisfaite de trois manières :

1° *Si r est infiniment petit.* Le premier terme du second membre sera alors prépondérant, et en posant

$$\frac{i}{5}\sqrt{AR}\,f(\varkappa) = \varepsilon_1$$

$$H_0\varrho_0 R = \varepsilon_2$$

$$R = r\cos\psi$$

on aura

$$r = \frac{M}{-C - \varepsilon_1 + k\varepsilon_2}\cos^2\psi$$

La courbe sera donc située au voisinage immédiat de la ligne de force de l'aimant élémentaire

$$r = \frac{M}{-C}\cos^2\psi$$

Si k décroît de 1 à — 1, la courbe correspondante s'élargit successivement et la région q_1 décrite aura la forme que l'on connaît d'après la discussion de mon mémoire de Genève (cas de γ négatif et très grand en valeur absolue). Cette région est limité intérieurement par une courbe g_1, correspondante à $k = 1$ et extérieurement par une courbe G_1, correspondante à $k = -1$ (Voir la fig. 16).

2° *Si la distance au point* $(A_1 o)$ *est infiniment petite.* En effet, alors H sera infiniment près de l'unité et le second terme

$$-\frac{i}{5}\sqrt{AR}\,f(\varkappa)$$

sera prépondérant[1]. On trouve alors d'une manière analogue que si k décroît de 1 à — 1, la courbe s'élargit et décrit un anneau q_2 autour du point $(A_1 o)$, délimité respectivement par

[1] Voir aussi l'expression approché de $f(\varkappa)$, chez *Appel : Traité de mécanique rationnelle, l'édition III, p. 439.*

deux courbes, l'une intérieure g_2 correspondante à $k = 1$, et une extérieure G_2, correspondante à $k = -1$ (Voir la fig. 16).

3° *Si k est négatif et R infiniment grand.* En posant

$$M \frac{R^2}{r^3} = \varepsilon_0$$

$$\frac{i}{5} \sqrt{AR}\, f(\varkappa) = \varepsilon_1$$

l'équation peut s'écrire

$$R = \frac{C + \varepsilon_0 + \varepsilon_1}{H_i \varrho . k}$$

Si k varie de -1 à 0, la courbe parcourra une région g_3 à droite de la courbe G_3 correspondante à $k = -1$.

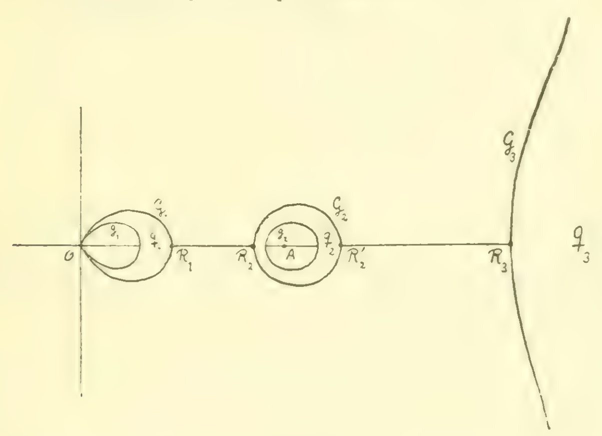


Fig. 16

Cela posé, faisons décroître C en valeur absolue.

Il suffit alors de regarder la courbe représentant C comme fonction de R le long de l'axe des R pour comprendre comment se déforment les courbes g_1, G_1, g_2, G_2 et G_3.

Premier cas : la valeur absolue du maximum C_a est *plus grande* que la valeur absolue du maximum C_b, k étant égal à -1.

Sur la figure ci-jointe (fig. 17) C sera l'ordonnée correspondante à l'abscisse R, k étant $= -1$.

On voit que pour C négatif et très grand en valeur absolue on a une valeur R_1 de R très voisine de zéro et correspondante

au point d'intersection de G_1 avec l'axe des R deux valeurs R_2 et R'_2 voisines de A, l'une moindre que A et l'autre plus grand, — correspondante aux deux points d'intersection de la courbe G_2 avec l'axe des R ; enfin, une valeur $R_3 > A$ correspondande à l'intersection de G_3 avec l'axe des R.

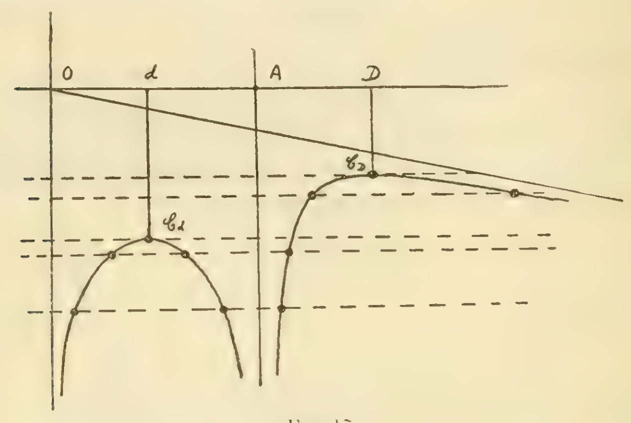


Fig. 17

Quand C décroît en valeur absolue, R_1 et R'_2 croissent, tandis que R_2 et R_3 décroissent.

Donc les courbes G_1 et G_2 s'élargissent en s'approchant et G_3 se meut vers la gauche.

Le même raisonnement fait aussi voir que g_1 et g_2 s'élargissent aussi en restant toujours à l'intérieur de G_1 et G_2. Donc les régions q_1 et q_2 s'élargissent en gardant leur forme annulaire et en s'approchant l'une de l'autre. De plus q_2 et q_3 s'approchent aussi.

Pour $C = C_d$, R_1 et R_2 coïncident et les branches G_1 et G_2 se réunissent au point double d.

Si C diminue encore en valeur absolue, G_1 et G_2 forment une nouvelle courbe fermée G_{12} ayant près de l'ancien point double un serrement (Voir la fig. 18).

Les courbes g_1 et g_2 suivrons à leur tour de telle sorte que la région q_{12} formée par la réunion des régions q_1 et q_2 finira par avoir la forme d'une région fermée comme celle ci-dessus. (Voir la fig. 19).

Si la valeur absolue de C décroît davantage, C devient égal à C_D et les courbes G_{12} et G_3 se recontrent au point double D ; cela peut aussi arriver avant que les courbes g_1 et g_2 se soient réunies.

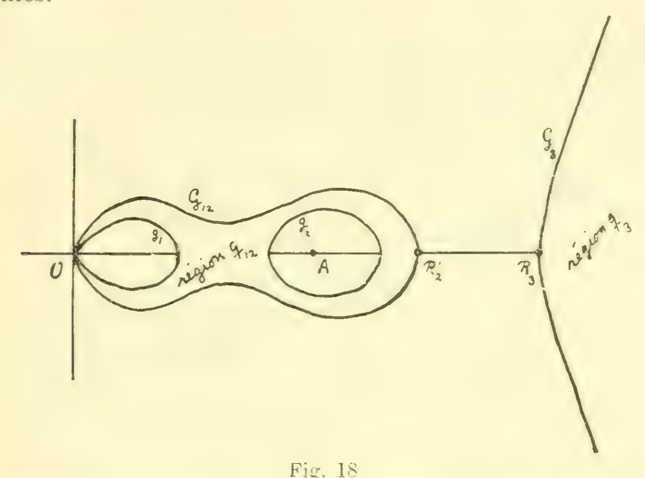


Fig. 18

Si C diminue davantage en valeur absolue, G_{12} et G_3 forment deux courbes G_{123} et G'_{123} allant de l'origine à l'infini et situées

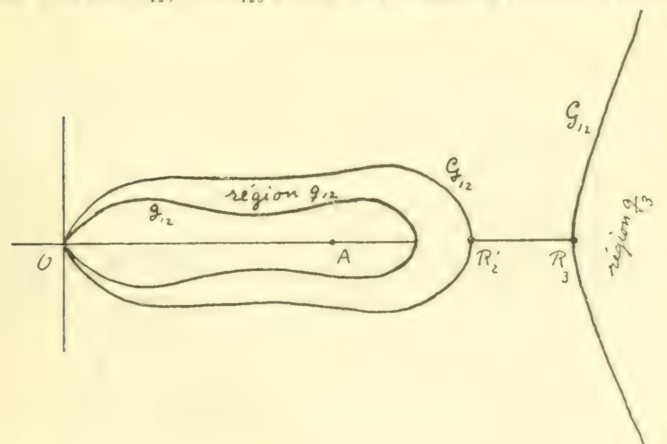


Fig. 19

symétriquement par rapport à l'axe des R, et les régions q_{12} et q_3 se sont maintenant réunies à une seule région q_{123} s'étendant sans interruption de l'origine à l'infini. (Voir la fig. 20).

Il faut donc que C soit situé entre zéro et C_D pour que la région

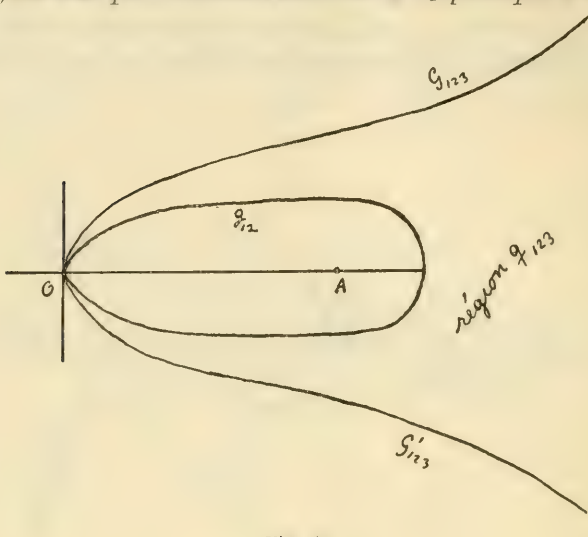


Fig 20

dont les trajectoires ne peuvent sortir s'étende sans interruption depuis l'origine jusqu'à l'infini.

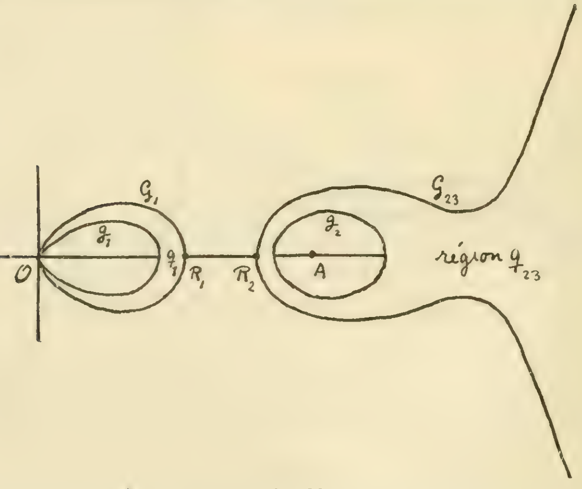


Fig. 21

Deuxième cas : la valeur absolue du maximum C_d est *plus petite* que la valeur absolue du maximum C_D.

Exactement de la même manière, on aura une série de cas analogues :

D'abord trois régions séparées et ensuite quand D en croissant de $-\infty$ à 0 vient de passer par la valeur C_D deux régions seulement. (Voir fig. 21).

Enfin, après le passage de la valeur C_d une seule région g_{123} s'étendant sans interruption de l'origine à l'infini. (Voir fig. 22).

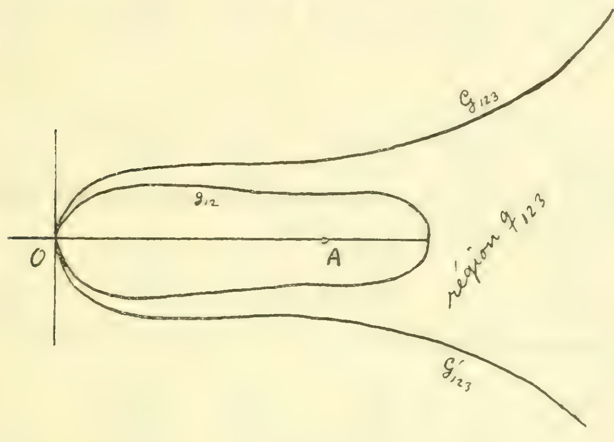


Fig. 22

Le cas intermédiaire où $C_D = C_d$, n'est pas essentiellement différent des deux autres.

En désignant par Γ_m la plus petite des deux minima de la valeur absolue de C le long de l'axe des R positifs, pour k égal à -1, on aura donc le résultat suivant :

Pour les applications aux aurores boréales il suffit de considérer les cas, où C est négatif et en valeur absolue moindre que Γ_m.

17. *Calcul numérique des minima de la valeur absolue de C le long de l'axe des R, pour* $k = 1$.

Pour les applications aux aurores boréales, il sera nécessaire de faire un calcul des nombres C_d et C_D correspondant aux divers cas.

Nous avions, pour $k = -1$

$$C = -\frac{M}{R} - \frac{i\sqrt{AR}}{5} f\left(\frac{2\sqrt{AR}}{A+R}\right) - H_0\varrho_0 R$$

Introduisons ici

$$C = -Ac, \qquad R = A\,\mathrm{tg}^2\frac{\alpha}{2}$$

ce qui donne

$$\frac{2\sqrt{AR}}{A+R} = \frac{2\,\mathrm{tg}\frac{\alpha}{2}}{1+\mathrm{tg}^2\frac{\alpha}{2}} = \sin\alpha$$

et

$$C = \frac{M}{A^2}\,\mathrm{cotg}^2\frac{\alpha}{2} + \frac{i}{5}\,\mathrm{tg}\frac{\alpha}{2}\,f(\sin\alpha) + H_0\varrho_0\,\mathrm{tg}^2\frac{\alpha}{2}$$

Mais, en appelant $H_1\rho_1$ le produit caractéristique des corpuscules formant l'anneau, nous avons

$$A = \sqrt{\frac{M}{H_1\varrho_1}}$$

En introduisant cette valeur, on obtient pour c la formule simple

$$C = H_0\varrho_0\,\mathrm{tg}^2\frac{\alpha}{2} + H_1\varrho_1\,\mathrm{cotg}^2\frac{\alpha}{2} + \frac{i}{5}\,\mathrm{tg}\frac{\alpha}{2}\,f(\sin\alpha)$$

formule qui est bien appropriée au calcul numérique.

En effet, en faisant varier α entre 0 et 180°, R croît de zéro à l'infini, c'est-à-dire que le point (R, o) parcourra l'axe des R depuis l'origine jusqu'à l'infini.

Alors une fois qu'on aura calculé des tables pour les fonctions

$$\mathrm{tg}^2\frac{\alpha}{2}, \qquad \mathrm{cotg}^2\frac{\alpha}{2} \qquad \text{et} \qquad \frac{1}{5}\,\mathrm{tg}\frac{\alpha}{2}\,f(\sin\alpha)$$

le calcul se fait très commodément à l'aide d'une machine à calculer, par exemple à l'aide de la machine *Brunswiga*, dont nous avons parlé dans la première partie de ce mémoire.

Pour la fonction $\mathrm{cotg}^2\frac{\alpha}{2}$ nous avons déjà[1] donné une table depuis $\alpha = 0$ jusqu'à $\alpha = 90°$, à savoir la table de la fonction appelée B, Il reste une table pour l'intervalle depuis $\alpha = 90°$ jusqu'à $\alpha = 180°$, ce que nous donnons ici :

[1] Voir le numéro d'octobre.

Table supplémentaire de la fonction $B = \cot g^2 \frac{a}{2}$

a		a		a	
91°	0.96570	121°	0.32010	151°	0.066884
92°	0.93256	122°	0.30726	152°	0.062165
93°	0.90052	123°	0.29481	153°	0.057638
94°	0.86959	124°	0.28272	154°	0.053301
95°	0.83966	125°	0.27099	155°	0.049146
96°	0.81072	126°	0.25962	156°	0.045182
97°	0.78275	127°	0.24858	157°	0.041392
98°	0.75566	128°	0.23788	158°	0.037784
99°	0.72945	129°	0.22751	159°	0.034351
100°	0.70409	130°	0.21744	160°	0.031092
101°	0.67954	131°	0.20769	161°	0.028003
102°	0.65574	132°	0.19823	162°	0.025084
103°	0.63272	133°	0.18906	163°	0.022335
104°	0.61041	134°	0.18017	164°	0.019751
105°	0.58879	135°	0.17157	165°	0.017334
106°	0.56784	136°	0.16324	166°	0.015075
107°	0.54754	137°	0.15516	167°	0.012982
108°	0.52786	138°	0.14735	168°	0.011046
109°	0.50878	139°	0.13979	169°	0.0092718
110°	0.49029	140°	0.13247	170°	0.0076545
111°	0.47235	141°	0.12548	171°	0.0061937
112°	0.45496	142°	0.11856	172°	0.0048902
113°	0.43810	143°	0.11196	173°	0.0037405
114°	0.42173	144°	0.10557	174°	0.0027468
115°	0.40586	145°	0.099414	175°	0.0019062
116°	0.39046	146°	0.093471	176°	0.0012194
117°	0.37552	147°	0.087740	177°	0.0006859
118°	0.36103	148°	0.082226	178°	0.0003048
119°	0.34698	149°	0.076906	179°	0.0000762
120°	0.33333	150°	0.071797	180°	0

Les valeurs de la fonction $\operatorname{tg}^2 \frac{\alpha}{2}$ s'obtiennent ensuite par la formule

$$\operatorname{tg}^2 \frac{a}{2} = \cot g^2 \frac{180° - a}{2}$$

Enfin, à l'aide de la table pour la fonction $(\sqrt{\sin \alpha})$ depuis $\alpha = 0$ à $\alpha = 180°$, nous avons calculé la table suivante :

Table de la fonction $\frac{1}{5}\, tg\, \frac{a}{2}\, f(\sin a)$

a		a		a	
1°	0.0000000017	31°	0.001862	61°	0.039670
2°	0.000000029	32°	0.002129	62°	0.043131
3°	0.000000148	33°	0.002425	63°	0.046876
4°	0.000000467	34°	0.002754	64°	0.051512
5°	0.000001141	35°	0.003118	65°	0.055321
6°	0.000002370	36°	0.003516	66°	0.060077
7°	0.000004396	37°	0.003958	67°	0.065241
8°	0.000007512	38°	0.004440	68°	0.070844
9°	0.0000123	39°	0.004970	69°	0.076941
10°	0.0000184	40°	0.005549	70°	0.083570
11°	0.0000270	41°	0.006184	71°	0.090802
12°	0.0000389	42°	0.006879	72°	0.098613
13°	0.0000526	43°	0.007632	73°	0.10764
14°	0.0000727	44°	0.0084563	74°	0.11682
15°	0.0000940	45°	0.0093520	75°	0.12721
16°	0.000123	46°	0.010326	76°	0.13869
17°	0.000157	47°	0.011384	77°	0.15140
18°	0.000196	48°	0.012531	78°	0.16554
19°	0.000245	49°	0.013777	79°	0.18133
20°	0.000305	50°	0.015125	80°	0.19908
21°	0.000370	51°	0.016586	81°	0.21919
22°	0.0004482	52°	0.018135	82°	0.24218
23°	0.0005383	53°	0.019881	83°	0.26880
24°	0.0006411	54°	0.021733	84°	0.30009
25°	0.0007613	55°	0.023697	85°	0.33768
26°	0.0008939	56°	0.025903	86°	0.38424
27°	0.001050	57°	0.028244	87°	0.44472
28°	0.001216	58°	0.030775	88°	0.53016
29°	0.001407	59°	0.033513	89°	0.67523
30°	0.001623	60°	0.036471	90°	∞

a		a		a	
91°	0.69922	121°	0.10470	151°	0.02103
92°	0.56851	122°	0.10016	152°	0.01956
93°	0.49384	123°	0.095805	153°	0.01821
94°	0.44186	124°	0.091622	154°	0.01677
95°	0.40216	125°	0.087447	155°	0.01549

a		a		a	
96°	0 37014	126°	0.083713	156°	0.01419
97°	0.34340	127°	0.079979	157°	0.01301
98°	0.32049	128°	0.076234	158°	0.01186
99°	0.30049	129°	0.072901	159°	0 01080
100°	0 28275	130°	0.069559	160°	0.00980
101°	0.26685	131°	0.066334	161°	0.00876
102°	0 25244	132°	0.063217	162°	0.00783
103°	0.23929	133°	0.060214	163°	0.00701
104°	0 22721	134°	0.057308	164°	0.00623
105°	0.21605	135°	0.054508	165°	0.00542
106°	0.20572	136°	0.05180	166°	0.00482
107°	0.19659	137°	0.04919	167°	0.00405
108°	0.18682	138°	0.04668	168°	0.00352
109°	0.17847	139°	0.04424	169°	0.00291
110°	0.17045	140°	0.04189	170°	0.00240
111°	0.16289	141°	0.03963	171°	0.0020
112°	0.15571	142°	0.03745	172°	0.001536
113°	0.14892	143°	0.03536	173°	0 001175
114°	0.14245	144°	0.03331	174°	0.0008628
115°	0.13631	145°	0.03136	175°	0.0005987
116°	0.13192	146°	0.02946	176°	0.000383
117°	0.12483	147°	0.02763	177°	0.000215
118°	0.11947	148°	0 02590	178°	0.00095
119°	0.11433	149°	0.02422	179°	0.000023
120°	0.10941	150°	0.02260	180°	

Cela posé, nous avons d'abord cherché les minima de c pour chaque combinaison des valeurs suivantes :

$$H_0\varrho_0 = 10^2,\ 10^3,\ 10^4,\ 10^5,\ 10^6$$
$$H_1\varrho_1 = 10^2,\ 10^3,\ 10^4,\ 10^5,\ 10^6$$
$$i = 10^4,\ 10^5,\ 10^6,\ 10^7,\ 10^8$$

Pour $i = o$, cas correspondant à un seul aimant élémentaire, on aura un seul minimum

$$c = 2\sqrt{H_0\varrho_0 . H_1\varrho_1}$$

pour

$$\operatorname{tg}\frac{a}{2} = \sqrt{\frac{H_1\varrho_1}{H_0\varrho_0}}$$

C'est la valeur correspondant au point double des lignes de

niveau $Q = o$ d'après ma théorie publiée dans les *Archives* en 1907 ; aussi la valeur correspondante de R

$$R = A \sqrt{\frac{H_1 \varrho_1}{H_0 \varrho_0}}$$

devient identique à l'ascisse de ce point double, à savoir

$$\sqrt{\frac{M}{H_0 \varrho_0}}$$

en y substituant la valeur de $H_1 \rho_1$.

Dans les tables suivantes, nous donnons les résultats du calcul des minima de c. Pour chaque minimum les valeurs de c sont données correspondant aux valeurs de l'angle α comprenant ce minimum :

$H_1 \varrho_1 = 10^2$

	$i = 10^4$		$i = 10^5$		$i = 10^6$		$i = 10^7$		$i = 10^8$	
	a	c	a	c	a	c	a	c	a	c
$H_0\varrho_0 = 10^2$	51	6,28 . 10^{2}	37	1,30 . 10^{3}	25	2,80 . 10^{3}	17	6,05 . 10^{3}	11	1,35 . 10^{4}
	52	6,25 . 10^{2}	38	1,30 . 10^{3}	26	2,78 . 10^{3}	18	5,95 . 10^{3}	12	1,29 . 10^{4}
	53	6,26 . 10^{2}	39	1,31 . 10^{3}	27	2,79 . 10^{3}	19	6,03 . 10^{3}	13	1,30 . 10^{4}
	134	1,15 . 10^{3}	153	3,56 . 10^{3}	164	1,13 . 10^{4}	171	3,60 . 10^{4}	174	1,23 . 10^{5}
	135	1,15 . 10^{3}	154	3,56 . 10^{3}	165	1,12 . 10^{4}	172	3,58 . 10^{4}	175	1,12 . 10^{5}
	136	1,15 . 10^{3}	155	3,59 . 10^{3}	166	1,15 . 10^{4}	173	3,85 . 10^{4}	176	1,20 10^{5}
$H_0\varrho_0 = 10^3$	48	8,28 . 10^{2}	36	1,40 . 10^{3}	25	2,85 . 10^{3}	17	6,07 . 10^{3}	11	1,35 . 10^{4}
	49	8,27 . 10^{2}	37	1,40 . 10^{3}	26	2,82 10^{3}	18	5,98 10^{3}	12	1,30 . 10^{4}
	50	8,29 . 10^{2}	38	1,41 . 10^{3}	27	2,84 . 10^{3}	19	6,05 . 10^{3}	13	1,30 . 10^{4}
	109	3,80 . 10^{3}	134	1,13 . 10^{4}	153	3,56 . 10^{4}	164	1,13 . 10^{5}	171	3,60 . 10^{5}
	110	3,79 . 10^{3}	135	1,13 . 10^{4}	154	3,55 . 10^{4}	165	1.12 . 10^{5}	172	3,58 . 10^{5}
	111	3,79 . 10^{3}	136	1,13 . 10^{4}	155	3,58 . 10^{4}	166	1,15 . 10^{5}	173	3,85 . 10^{5}
$H_0\varrho_0 = 10^4$	34	2,03 . 10^{3}	31	2,26 . 10^{3}	24	3,31 . 10^{3}	17	6,27 . 10^{3}	11	1,36 . 10^{4}
	35	2,03 . 10^{3}	32	2,25 . 10^{3}	25	3,29 . 10^{3}	18	6,20 . 10^{3}	12	1,31 . 10^{4}
	36	2,04 . 10^{3}	33	2,26 . 10^{3}	26	3,30 . 10^{3}	19	6,30 . 10^{3}	13	1,31 . 10^{4}
	93	1,61 . 10^{4}	109	3,76 . 10^{4}	134	1,13 . 10^{5}	153	3,56 . 10^{5}	164	1,13 . 10^{6}
	94	1,60 . 10^{4}	110	3,75 . 10^{4}	135	1,13 . 10^{5}	154	3,55 . 10^{5}	165	1,12 . 10^{6}
	95	1,60 . 10^{4}	111	3,75 . 10^{4}	136	1,13 . 10^{5}	155	3,58 . 10^{5}	166	1,15 . 10^{6}
$H_0\varrho_0 = 10^5$	19	6,37 . 10^{3}	19	6,40 . 10^{3}	18	6,69 . 10^{3}	16	8,44 . 10^{3}	11	1,44 10^{4}
	20	6,33 . 10^{3}	20	6,36 . 10^{3}	19	6,62 . 10^{3}	17	8,27 . 10^{3}	12	1,40 . 10^{4}
	21	6,35 . 10^{3}	21	6,38 . 10^{3}	20	6,63 . 10^{3}	18	8,28 . 10^{3}	13	1.43 . 10^{4}
	90	∞	93	1,61 . 10^{5}	109	3,75 . 10^{5}	134	1,13 . 10^{6}	153	3,56 . 10^{6}
	91	1,11 . 10^{5}	94	1,59 10^{5}	110	3,74 . 10^{5}	135	1,13 . 10^{6}	154	3,55 . 10^{6}
	92	1,13 . 10^{5}	95	1,59 10^{5}	111	3,75 . 10^{5}	136	1,13 . 10^{6}	155	3,58 . 10^{6}

	$i = 10^4$		$i = 10^5$		$i = 10^6$		$i = 10^7$		$i = 10^8$	
	a	c	a	c	a	c	a	c	a	c
$H_0\varrho_0=10^6$	10	2,07.10^{4}	10	2,07.10^{4}	10	2,07.10^{4}	10	2,09 10^{4}	9	2,36.10^{4}
	11	2,00.10^{4}	11	2.01.10^{4}	11	2,01.10^{4}	11	2,03.10^{4}	10	2,26.10^{4}
	12	2,01.10^{4}	12	2,01.10^{4}	12	2,01.10^{4}	12	2,05 10^{4}	11	2,28.10^{4}
	90	∞	90	∞	93	1,60.10^{6}	109	3,75.10^{6}	134	1,13.10^{7}
	91	1,04.10^{6}	91	1,11.10^{6}	94	1,59.10^{6}	110	3,74.10^{6}	135	1,13.10^{7}
	92	1,08.10^{6}	92	1,13.10^{6}	95	1,59.10^{6}	111	3,75.10^{6}	136	1,13.10^{7}

$H_1\varrho_1 = 10^3$

	$i = 10^4$		$i = 10^5$		$i = 10^6$		$i = 10^7$		$i = 10^8$	
	a	c	a	c	a	c	a	c	a	c
$H_0\varrho_0=10^2$	69	2,93.10^{3}	52	6,04.10^{3}	37	1,29.10^{4}	25	2,80 10^{4}	17	6,04 10^{4}
	70	2,92.10^{3}	53	6,04.10^{3}	38	1,29.10^{4}	26	2,77.10^{4}	18	5,95.10^{4}
	71	2,92.10^{3}	54	6,05.10^{3}	39	1,30.10^{4}	27	2,79 10^{4}	19	6,02 10^{4}
	136	1,29.10^{3}	153	3,61.10^{3}	164	1,13.10^{4}	171	3,60.10^{4}	174	1,23.10
	137	1,29.10^{3}	154	3,61.10^{3}	165	1,12.10^{4}	172	3,58.10^{4}	175	1,12.10^{5}
	138	1,29.10^{3}	155	3,63.10^{3}	166	1,16.10^{4}	173	3,85.10^{4}	176	1,20.10^{5}
$H_0\varrho_0=10^3$	68	3,36.10^{3}	51	6,28.10^{3}	37	1,30.10^{4}	25	2,80.10^{4}	17	6,05.10^{4}
	69	3,36.10^{3}	52	6,26.10^{3}	38	1,30.10^{4}	26	2,78.10^{4}	18	5,95.10^{4}
	70	3,37.10^{3}	53	6,26.10^{3}	39	1,31.10^{4}	27	2,79.10^{4}	19	6,03.10^{4}
	112	4,21.10^{3}	134	1,15.10^{4}	153	3,56.10^{4}	164	1,13.10^{5}	171	3,60 10^{5}
	113	4,21.10^{3}	135	1,15.10^{4}	154	3,56.10^{4}	165	1,12.10^{5}	172	3,58.10^{5}
	114	4.22.10^{3}	136	1,15.10^{4}	155	3,59.10^{4}	166	1,15 10^{5}	173	3,85.10^{5}
$H_0\varrho_0=10^4$	56	6,62.10^{3}	48	8,28.10^{3}	36	1,40.10^{4}	25	2,85 10^{4}	17	6,07.10^{4}
	57	6,62.10^{3}	49	8,27.10^{3}	37	1,40.10^{4}	26	2,82.10^{4}	18	5,98.10^{4}
	58	6,64.10^{3}	50	8,29.10^{3}	38	1,41 10^{4}	27	2,84.10^{4}	19	6,05.10^{4}
	94	1,68.10^{4}	109	3,80.10^{4}	134	1,13.10^{5}	153	3,56.10^{5}	164	1,13 10^{6}
	95	1,68 10^{4}	110	3,79 10^{4}	135	1,13.10^{5}	154	3,55.10^{5}	165	1,12.10^{6}
	96	1,68 10^{4}	111	3,79.10^{4}	136	1,13 10^{5}	155	3,58.10^{5}	166	1,15.10^{6}
$H_0\varrho_0=10^5$	34	2,01.10^{4}	34	2,03.10^{4}	31	2,26.10^{4}	24	3,31.10^{4}	17	6,27.10^{4}
	35	2,00 10^{4}	35	2,03.10^{4}	32	2,25.10^{4}	25	2,29 10^{4}	18	6,20.10^{4}
	36	2,01.10^{4}	36	2,04.10^{4}	33	2,26 10^{4}	26	3,30.10^{4}	19	6,30.10^{4}
	90	∞	93	1,61.10^{5}	109	3,76.10^{5}	134	1,13.10^{6}	153	3,56.10^{6}
	91	1,12.10^{5}	94	1,60.10^{5}	110	3,75.10^{5}	135	1,13.10^{6}	154	3,55.10^{6}
	92	1,14.10^{5}	95	1,60.10^{5}	111	3,75.10^{5}	136	1,13.10^{6}	155	3,58.10^{6}
$H_0\varrho_0=10^6$	19	6,37.10^{4}	19	6,37.10^{4}	19	6,40.10^{4}	18	6,69 10^{4}	15	8,44 10^{4}
	20	6,33.10^{4}	20	6,33.10^{4}	20	6,36.10^{4}	19	6,62.10^{4}	16	8,27.10^{4}
	21	6,35.10^{4}	21	6,35.10^{4}	21	6,38.10^{4}	20	6,63.10^{4}	17	8,28.10^{4}
	90	∞	90	∞	93	1,61.10^{6}	109	3,75.10^{6}	134	1,13.10^{7}
	91	1,04.10^{6}	91	1,11.10^{6}	94	1,59.10^{6}	110	3,74.10^{6}	135	1,13.10^{7}
	92	1,08.10^{6}	92	1,13.10^{6}	95	1,59.10^{6}	111	3,75.10^{6}	136	1,13 10^{7}

$H_1\varrho_1 = 10^4$

	$i = 10^4$		$i = 10^5$		$i = 10^6$		$i = 10^7$		$i = 10^8$	
	a	c	a	c	a	c	a	c	a	c
$H_0\varrho_0=10^2$	84	$1,54.10^{4}$	70	$2,88.10^{4}$	52	$6,02.10^{4}$	37	$1,29.10^{5}$	25	$2,80.10^{5}$
	85	$1,54.10^{4}$	71	$2,88.10^{4}$	53	$6,01.10^{4}$	38	$1,29.10^{5}$	26	$2,77.10^{5}$
	86	$1,54.10^{4}$	72	$2,89.10^{4}$	54	$6,03.10^{4}$	39	$1,29.10^{5}$	27	$2,78.10^{5}$
	146	$2,30.10^{3}$	154	$4,09.10^{3}$	164	$1,15.10^{4}$	171	$3,60.10^{4}$	174	$1,23.10^{5}$
	147	$2,30.10^{3}$	155	$4,08.10^{3}$	165	$1,14.10^{4}$	172	$3,59.10^{4}$	175	$1,12.10^{5}$
	148	$2,30.10^{3}$	156	$4,08.10^{3}$	166	$1,16.10^{4}$	173	$3,85.10^{4}$	176	$1,20.10^{5}$
$H_0\varrho_0=10^3$	84	$1,61.10^{4}$	69	$2,93.10^{4}$	52	$6,04.10^{4}$	37	$1,29.10^{5}$	25	$2,80.10^{5}$
	85	$1,61.10^{4}$	70	$2,92.10^{4}$	53	$6,04.10^{4}$	38	$1,29.10^{5}$	26	$2,77.10^{5}$
	86	$1,62.10^{4}$	71	$2,92.10^{4}$	54	$6,05.10^{4}$	39	$1,30.10^{5}$	27	$2,79.10^{5}$
	124	$7,28.10^{3}$	136	$1,29.10^{4}$	153	$3,61.10^{4}$	164	$1,13.10^{5}$	171	$3,60.10^{5}$
	125	$7,27.10^{3}$	137	$1,29.10^{4}$	154	$3,61.10^{4}$	165	$1,12.10^{5}$	172	$3,58.10^{5}$
	126	$7,29.10^{3}$	138	$1,29.10^{4}$	155	$3,63.10^{4}$	166	$1,16.10^{5}$	173	$3,85.10^{5}$
$H_0\varrho_0=10^4$	80	$2,32.10^{4}$	68	$3,36.10^{4}$	51	$6,28.10^{4}$	37	$1,30.10^{5}$	25	$2,80.10^{5}$
	81	$2,32.10^{4}$	69	$3,36.10^{4}$	52	$6,26.10^{4}$	38	$1,30.10^{5}$	26	$2,78.10^{5}$
	82	$2,32.10^{4}$	70	$3,37.10^{4}$	53	$6,26.10^{4}$	39	$1,31.10^{5}$	27	$2,79.10^{5}$
	97	$2,40.10^{4}$	112	$4,21.10^{4}$	134	$1,15.10^{5}$	153	$3,56.10^{5}$	164	$1,13.10^{6}$
	98	$2,40.10^{4}$	113	$4,21.10^{4}$	135	$1,15.10^{5}$	154	$3,56.10^{5}$	165	$1,12.10^{6}$
	99	$2,40.10^{4}$	114	$4,22.10^{4}$	136	$1,15.10^{5}$	155	$3,59.10^{5}$	166	$1,15.10^{6}$
$H_0\varrho_0=10^5$	57	$6,37.10^{4}$	56	$6,62.10^{4}$	48	$8,28.10^{4}$	36	$1,40.10^{5}$	25	$2,85.10^{5}$
	58	$6,36.10^{4}$	57	$6,62.10^{4}$	49	$8,27.10^{4}$	37	$1,40.10^{5}$	26	$2,82.10^{5}$
	59	$6,36.10^{4}$	58	$6,63.10^{4}$	50	$8,29.10^{4}$	38	$1,41.10^{5}$	27	$2,84.10^{5}$
	90	∞	94	$1,68.10^{5}$	109	$3,80.10^{5}$	134	$1,13.10^{6}$	153	$3,56.10^{6}$
	91	$1,20.10^{5}$	95	$1,68.10^{5}$	110	$3,79.10^{5}$	135	$1,13.10^{6}$	154	$3,55.10^{6}$
	92	$1,22.10^{5}$	96	$1,68.10^{5}$	111	$3,79.10^{5}$	136	$1,13.10^{6}$	155	$3,58.10^{6}$
$H_0\varrho_0=10^6$	34	$2,00.10^{5}$	34	$2,01.10^{5}$	34	$2,03.10^{5}$	31	$2,26.10^{5}$	24	$3,31.10^{5}$
	35	$2,00.10^{5}$	35	$2,00.10^{5}$	35	$2,03.10^{5}$	32	$2,25.10^{5}$	25	$3,29.10^{5}$
	36	$2,00.10^{5}$	36	$2,01.10^{5}$	36	$2,04.10^{5}$	33	$2,26.10^{5}$	26	$3,30.10^{5}$
	90	∞	90	∞	93	$1,61.10^{6}$	109	$3,76.10^{6}$	134	$1,13.10^{7}$
	91	$1,05.10^{6}$	91	$1,12.10^{6}$	94	$1,60.10^{6}$	110	$3,75.10^{6}$	135	$1,13.10^{7}$
	92	$1,09.10^{6}$	92	$1,14.10^{6}$	95	$1,60.10^{6}$	111	$3,75.10^{6}$	136	$1,13.10^{7}$

$H_1\varrho_1 = 10^5$

	$i = 10^4$		$i = 10^5$		$i = 10^6$		$i = 10^7$		$i = 10^8$	
	a	c	a	c	a	c	a	c	a	c
$H_0\varrho_0=10^2$	88	$1,13.10^{5}$	84	$1,53.10^{5}$	70	$2,88.10^{5}$	52	$6,02.10^{5}$	37	$1,29.10^{6}$
	89	$1,10.10^{5}$	85	$1,53.10^{5}$	71	$2,87.10^{5}$	53	$6,01.10^{5}$	38	$1,29.10^{6}$
	90	∞	86	$1,54.10^{5}$	72	$2,88.10^{5}$	54	$6,03.10^{5}$	39	$1,29.10^{6}$
	159	$6,45.10^{3}$	160	$7,31.10^{3}$	164	$1,33.10^{4}$	171	$3,66.10^{4}$	174	$1,23.10^{5}$
	160	$6,42.10^{3}$	161	$7,25.10^{3}$	165	$1,29.10^{4}$	172	3,6[illegible] . 10^{4}	175	$1,13.10^{5}$
	161	$6,46.10^{3}$	162	$7,28.10^{3}$	166	$1,30.10^{4}$	173	$3,89.10^{4}$	176	$1,20.10^{5}$

	$i = 10^4$		$i = 10^5$		$i = 10^6$		$i = 10^7$		$i = 10^8$	
	a	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*
$H_0\varrho_0=10^3$	88	$1,13.10^5$	84	$1,54.10^5$	70	$2,88.10^5$	52	$6,02.10^5$	37	$1,29.10^6$
	89	$1,11.10^5$	85	$1,54.10^5$	71	$2,88.10^5$	53	$6,01.10^5$	38	$1,29.10^6$
	90	∞	86	$1,54.10^5$	72	$2,89.10^5$	54	$6,03.10^5$	39	$1,29.10^6$
	144	$2.04.10^4$	146	$2,30.10^4$	154	$4,09.10^4$	164	$1,15.10^5$	171	$3,60.10^5$
	145	$2,03.10^4$	147	$2,29.10^4$	155	$4,08.10^4$	165	$1,14.10^5$	172	$3,59.10^5$
	146	$2,03.10^4$	148	$2,30.10^4$	156	$4,08.10^4$	166	$1,16.10^5$	173	$3,85.10^5$
$H_0\varrho_0=10^4$	88	$1,22.10^5$	84	$1,61.10^5$	69	$2,93.10^5$	52	$6,04.10^5$	37	$1,29.10^6$
	89	$1,20.10^5$	85	$1,61.10^5$	70	$2,92.10^5$	53	$6,04.10^5$	38	$1,29.10^6$
	90	x	86	$1,62.10^5$	71	$2,92.10^5$	54	$6,05.10^5$	39	$1,30.10^6$
	121	$6,43.10^4$	124	$7.28.10^4$	136	$1,29.10^5$	153	$3,61.10^5$	164	$1,13.10^6$
	122	$6,43.10^4$	125	$7:27.10^4$	137	$1,29.10^5$	154	$3,60.10^5$	165	$1,12.10^6$
	123	$6,44.10^4$	126	$7.29.10^4$	138	$1,29.10^5$	155	$3,63.10^5$	166	$1,16.10^6$
$H_0\varrho_0=10^5$	86	$2.06.10^5$	80	$2.32.10^5$	68	$3.36.10^5$	51	$6,28.10^5$	37	$1.30.10^6$
	87	$2.06.10^5$	81	$2.32.10^5$	69	$3,36.10^5$	52	$6,26.10^5$	38	$1.30.10^6$
	88	$2,06.10^5$	82	$2,32.10^5$	70	$3,37.10^5$	53	$6,26.10^5$	39	$1,31.10^6$
	92	$2,06.10^5$	97	$2,40.10^5$	112	$4,21.10^5$	134	$1,15.10^6$	153	$3,56.10^6$
	93	$2,06.10^5$	98	$2,40.10^5$	113	$4,21.10^5$	135	$1,15.10^6$	154	$3,56.10^6$
	94	$2.06.10^5$	99	$2.40.10^5$	114	$4.22.10^5$	136	$1.15.10^6$	155	$3,59.10^6$
$H_0\varrho_0=10^6$	58	$6,33.10^5$	57	$6.37.10^5$	56	$6,62.10^5$	48	$8,28.10^5$	36	$1,40.10^6$
	59	$6,33.10^5$	58	$6.36.10^5$	57	$6,62.10^5$	49	$8,27.10^5$	37	$1,40.10^6$
	60	$6,34.10^5$	59	$6,36.10^5$	58	$6,63.10^5$	50	$8,29.10^5$	38	$1,40.10^6$
	90	∞	90	∞	94	$1,68.10^6$	109	$3,80.10^6$	134	$1,13.10^7$
	91	$1.14.10^6$	91	$1.20.10^6$	95	$1.68.10^6$	110	$3.79.10^6$	135	$1,13.10^7$
	92	$1,17.06^6$	92	$1,22.10^6$	96	$1,68.10^6$	111	$3,79.10^6$	136	$1,13.10^7$

$H_1\varrho_1 = 10^6$

	$i = 10^4$		$i = 10^5$		$i = 10^6$		$i = 10^7$		$i = 10^8$	
	a	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*	*a*	*c*
$H_0\varrho_0=10^2$	88	$1,16.10^6$	88	$1,20.10^6$	84	$1,53.10^6$	70	$2,88.10^6$	52	$6,02.10^6$
	89	$1,04.10^6$	89	$1,10.10^6$	85	$1,53.10^6$	71	$2,87.10^6$	53	$6,01.10^6$
	90	∞	90	∞	86	$1,53.10^6$	72	$2,88.10^6$	54	$6,03.10^6$
	168	$2,01.10^4$	168	$2,05.10^4$	168	$2,36.10^4$	171	$4,22.10^4$	174	$1,25.10^5$
	169	$2,01.10^4$	169	$2,03.10^4$	169	$2,30.10^4$	172	$4,07.10^4$	175	$1,14.10^5$
	170	$2,07.10^4$	170	$2,10.10^4$	170	$2,31.10^4$	173	$4,22.10^4$	176	$1,23.10^5$
$H_0\varrho_0=10^3$	88	$1,08.10^6$	88	$1,13.10^6$	84	$1,53.10^6$	70	$2,88.10^6$	52	$6,02.10^6$
	89	$1,04.10^6$	89	$1,10.10^6$	85	$1,53.10^6$	71	$2,87.10^6$	53	$6,01.10^6$
	90	∞	90	∞	86	$1,54.10^6$	72	$2,88.10^6$	54	$6,03.10^6$
	159	$6,36.10^4$	159	$6,45.10^4$	160	$7,31.10^4$	164	$1,33.10^5$	171	$3,67.10^5$
	160	$6,34.10^4$	160	$6,42.10^4$	161	$7,25.10^4$	165	$1,29.10^5$	172	$3,63.10^5$
	161	$6,38.10^4$	161	$6,46.10^4$	162	$7,28.10^4$	166	$1,30.10^5$	173	$3,89.10^5$

	$i = 10^4$		$i = 10^5$		$i = 10^6$		$i = 10^7$		$i = 10^8$	
	a	c	a	c	a	c	a	c	a	c
$H_0 \varrho_0 = 10^4$	88	$1{,}09.10^6$	88	$1{,}13.10^6$	84	$1{,}54.10^6$	70	$2{,}88.10^6$	52	$6{,}02.10^6$
	89	$1{,}05.10^6$	89	$1{,}11.10^6$	85	$1{,}54.10^6$	71	$2{,}88.10^6$	53	$6{,}01.10^6$
	90	∞	90	∞	86	$1{,}54.10^6$	72	$2{,}89.10^6$	54	$6{,}03.10^6$
	144	$2{,}01.10^5$	144	$2{,}04.10^5$	146	$2{,}30.10^5$	154	$4{,}09.10^5$	164	$1{,}15.10^6$
	145	$2{,}00.10^5$	145	$2{,}03.10^5$	147	$2{,}30.10^5$	155	$4{,}08.10^5$	165	$1{,}14.10^6$
	146	$2{,}01.10^5$	146	$2{,}03.10^5$	148	$2{,}30.10^5$	156	$4{,}08.10^5$	166	$1{,}16.10^6$
$H_0 \varrho_0 = 10^5$	88	$1{,}17.10^6$	88	$1{,}22.10^6$	84	$1{,}61.10^6$	69	$2{,}93.10^6$	52	$6{,}04.10^6$
	89	$1{,}14.10^6$	89	$1{,}20.10^6$	85	$1{,}61.10^6$	70	$2{,}92.10^6$	53	$6{,}04.10^6$
	90	∞	90	∞	86	$1{,}62.10^6$	71	$2{,}92.10^6$	54	$6{,}05.10^6$
	120	$6{,}34.10^5$	121	$6{,}43.10^5$	124	$7{,}28.10^5$	136	$1{,}29.10^6$	153	$3{,}61.10^6$
	121	$6{,}34.10^5$	122	$6{,}43.10^5$	125	$7{,}27.10^5$	137	$1{,}29.10^6$	154	$3{,}61.10^6$
	122	$6{,}34.10^5$	123	$6{,}44.10^5$	126	$7{,}29.10^5$	138	$1{,}29.10^6$	155	$3{,}63.10^6$
$H_0 \varrho_0 = 10^6$	88	$2{,}01.10^6$	86	$2{,}06.10^6$	80	$2{,}32.10^6$	68	$3{,}36.10^6$	51	$6{,}28.10^6$
	89	$2{,}01.10^6$	87	$2{,}06.10^6$	81	$2{,}32.10^6$	69	$3{,}36.10^6$	52	$6{,}26.10^6$
	90	∞	88	$2{,}06.10^6$	82	$2{,}32.10^6$	70	$3{,}37.10^6$	53	$6{,}26.10^6$
	90	∞	92	$2{,}06.10^6$	97	$2{,}40.10^6$	112	$4{,}21.10^6$	134	$1{,}15.10^7$
	91	$2{,}00.10^6$	93	$2{,}06.10^6$	98	$2{,}40.10^6$	113	$4{,}20.10^6$	135	$1{,}15.10^7$
	92	$2{,}01.10^6$	94	$2{,}06.10^6$	99	$2{,}40.10^6$	114	$4{,}22.10^6$	136	$1{,}15.10^7$

En examinant ces tables, on voit que le plus petit des deux minima de c pour $i > o$ tombera tantôt dans l'intervalle $o < \alpha < 90°$ tantôt dans l'intervalle $90° < \alpha < 180°$. Dans le premier cas, la valeur absolue de C_d sera moindre que la valeur absolue de C_D, dans le second cas, le contraire aura lieu.

17. *Application des résultats obtenus pour trouver l'action de l'anneau sur la situation de la zone des aurores boréales. Formules et résultats graphiques.*

Nous allons maintenant appliquer les résultats obtenus au problème des aurores boréales.

Pour abréger, appelons $E(c)$ la partie d'espace en dehors de laquelle les trajectoires correspondant aux valeurs fixes des constantes

$$M, A, i, H_0\varrho_0 \quad \text{et} \quad C = -Ac$$

ne peuvent sortir ; nous avons vu que $E(c)$ s'étend sans interruption de l'origine à l'infini seulement si

$$o \leqq c \leqq c_m$$

c_m étant le plus petit des deux minima de c le long de l'axe des R.

Comme dans le cas d'un aimant élémentaire seul, il est naturel de supposer que la frontière de la zone d'aurore boréale vers le sud sera formée par la surface S_m limitant intérieurement l'espace $E(c)$ pour $c = c_m$. Il faut avouer que cela est toutefois une hypothèse dont la vérification dépasserait les limites de ce mémoire; en effet, on suppose alors l'existence des trajectoires venant de l'infini et pénétrant aux environs de l'origine et cela pour des valeurs de c très peu différente de c_m et moindres que ce nombre.

Nous allons calculer où cette surface S_m rencontre l'atmosphère : comme auparavant l'origine est alors placée au centre de la terre, et l'axe des z coïncidant avec l'axe magnétique de celle-ci. L'équation de la surface S_m est maintenant :

$$M \frac{R^2}{r^3} + \frac{i}{5} \sqrt{AR}\, f(\varkappa) - Ac_m - H_t \varrho_0 R = o$$

Cherchons l'intersection entre S_m est une sphère concentrique avec la terre et de rayon Δ égal à la distance moyenne du centre à la région des aurores. On peut poser

$$\Delta = 6{,}5.10^8$$

centimètres. D'autre part, appelons θ l'angle entre l'axe magnétique et le rayon allant du centre de la terre au cercle d'intersection entre S_m et la sphère définie plus haut ; θ sera alors le rayon angulaire du bord extérieur de la zone d'aurores.

Pour trouver θ, il faut dans l'équation ci-dessus substituer

$$r = \Delta$$
$$R = \Delta \sin \theta$$

et ensuite résoudre l'équation par rapport à $\sin \theta$; cependant, avec assez d'approximation, on peut négliger $H_t \varrho_0 R$ et le terme contenant i en facteur. En effet, à cause de la proximité de la terre, l'action du magnétisme terrestre et par conséquent aussi le terme $M \frac{R^2}{r^3}$ sera prépondérant vis-à-vis des deux termes mentionnés ci-dessus.

Cela donne

$$M \frac{\sin^2 \theta}{\Delta} = Ac_m$$

d'où la formule

$$\sin \theta = \sqrt{\frac{A \Delta c_m}{M}}$$

Il est intéressant de comparer cette formule avec celle correspondant au cas d'un aimant élémentaire seul ; dans ce cas $i = o$ et

$$c_m = 2 \sqrt{H_0 \varrho_0 \,.\, H_1 \varrho_1}$$

et comme

$$A = \sqrt{\frac{M}{H_1 \varrho_1}}$$

il viendra

$$\sin \theta = \sqrt{\frac{2\Delta \sqrt{H_0 \varrho_0}}{\sqrt{M}}}$$

formule identique à celle résultant des formules suivantes, données dans mon mémoire[1] de 1907.

$$\left. \begin{aligned} \sin \alpha_c &= \sqrt{\frac{2\Delta}{c}} \\ c &= \sqrt{\frac{H_0 \varrho_0}{M}} \end{aligned} \right\}$$

A l'aide des formules pour sin θ, on calculera alors l'action de l'anneau sur la zone des aurores. Pour bien juger de la nature de cette action, il faut aussi calculer l'ordre de grandeur de l'action magnétique de l'anneau observé à la surface de la terre. Les composants H_R et H_z de cette action étaient données par les formules

$$H_R = -\frac{iAz}{5} \int_o^{\pi} \frac{\cos \theta d\theta}{\left[R^2 + z^2 + A^2 - 2AR \cos \theta\right]^{\frac{3}{2}}}$$

$$H_z = -\frac{iA}{5} \int_o^{\pi} \frac{(A - R \cos \theta d\theta)\, d\theta}{\left[R^2 + z^2 + A^2 - 2AR \cos \theta\right]^{\frac{3}{2}}}$$

Comme il s'agit ici de l'ordre de grandeur seulement, on peut, à cause de la distance de l'anneau, assimiler H_R et H_z avec les composants correspondant à $R = o$, $z = o$, ce qui donne

$$H_R = o, \qquad H_z = -\frac{5\pi}{iA}$$

[1] Voir *l. c.* § 17. Voir aussi : Sur la situation de la zone de fréquence maximum des aurores boréales, d'après la théorie corpusculaire. *Comptes rendus*, Paris, 24 octobre 1910.

L'action est donc parallèle à l'axe magnétique et dirigé vers le sud et en valeur absolue égale à $\frac{5\pi}{iA}$, résultat connu d'ailleurs par la théorie élémentaire des courants circulaires.

En appelant H cette action comptée en unités γ (10^{-5} C.G.S.), nous avons donc

$$H = \frac{2.10^4 \pi i}{A} \text{ unités } \gamma$$

Cela posé, voici les valeurs de l'angle θ qu'on tire des valeurs précédemment calculées du nombre c_m :

$H_1\varrho_1 = 10^2$. *Anneau de rayon 9,23 millions kilomètres*

	$i = 0$	$i = 10^4$	$i = 10^5$	$i = 10^6$	$i = 10^7$	$i = 10^8$
$H_0\varrho_0 = 10^2$	2°1	3°8	5°5	8°	11°8	17°5
$H_0\varrho_0 = 10^3$	3°8	4°4	5°7	8°1	11°8	17°6
$H_0\varrho_0 = 10^4$	6°8	6°9	7°2	8°7	12°1	17°7
$H_0\varrho_0 = 10^5$	12°2	12°2	12°2	12°5	14°	18°3
$H_0\varrho_0 = 10^6$	22°	22°	22°1	22°1	22°2	23°5
	H = 0	H = 0	H = 0	H = 0	H = 1	H = 7

$H_1\varrho_1 = 10^3$. *Anneau de rayon 2,92 millions de kilomètres*

	$i = 0$	$i = 10^4$	$i = 10^5$	$i = 10^6$	$i = 10^7$	$i = 10^8$
$H_0\varrho_0 = 10^2$	2°1	3°1	5°1	9°1	14°4	21°3
$H_0\varrho_0 = 10^3$	3°8	4°9	6°8	9°8	14°4	21°3
$H_0\varrho_0 = 10^4$	6°8	7°	7°8	10°2	14°5	21°4
$H_0\varrho_0 = 10^5$	12°2	12°2	12°3	12°9	15°7	21°8
$H_0\varrho_0 = 10^6$	22°	22°	22°	22°1	22°6	25°4
	H = 0	H = 0	H = 0	H = 0	H = 2	H = 22

$H_1\varrho_1 = 10^4$. *Anneau de rayon 923 000 kilomètres*

	$i = 0$	$i = 10^4$	$i = 10^5$	$i = 10^6$	$i = 10^7$	$i = 10^8$
$H_0\varrho_0 = 10^2$	2°1	2°3	3°1	5°1	9°1	16°3
$H_0\varrho_0 = 10^3$	2°8	4°1	5°5	9°2	16°3	26°3
$H_0\varrho_0 = 10^4$	6°8	7°3	8°8	12°1	17°6	26°3
$H_0\varrho_0 = 10^5$	12°2	12°2	12°5	14°	18°3	26°5
$H_0\varrho_0 = 10^6$	22°	22°	22°	22°2	23°4	26°8
	H = 0	H = 0	H = 0	H = 1	H = 7	H = 68

$H_1\varrho_1 = 10^5$. *Anneau de rayon 292 000 kilomètres*

	$i=0$	$i=10^4$	$i=10^5$	$i=10^6$	$i=10^7$	$i=10^8$
$H_0\varrho_0=10^2$	2°1	2°2	2°3	3°1	5°2	9°1
$H_0\varrho_0=10^3$	3°8	3°9	4°1	5°5	9°2	16°4
$H_0\varrho_0=10^4$	6°8	6°9	7°3	9°8	16°4	30°
$H_0\varrho_0=10^5$	12°2	12°4	13°1	15°9	21°9	32°6
$H_0\varrho_0=10^6$	22°	22°	22°1	22°6	25°4	33°9
	H = 0	H = 0	H = 0	H = 2	H = 22	H=215

$H_1\varrho_1 = 10^6$. *Anneau de rayon 92,300 kilomètres*

	$i=0$	$i=10^4$	$i=10^5$	$i=10^6$	$i=10^7$	$i=10^8$
$H_0\varrho_0=10^2$	2°1	2°1	2°2	2°3	3°1	5°1
$H_0\varrho_0=10^3$	3°8	3°8	3°8	4°1	5°5	9°2
$H_0\varrho_0=10^4$	6°8	6°8	6°9	7°3	9°7	16°5
$H_0\varrho_0=10^5$	12°2	12°2	12°3	13°1	17°5	30°3
$H_0\varrho_0=10^6$	22°	22°	22°4	23°8	29°1	41°6
	H = 0	H = 0	H = 1	H = 7	H = 68	H=681

En représentant graphiquement ces résultats, il devenait nécessaire de faire des calculs supplémentaires; les résultats ont été représentés sur les figures des planches V et VI. Sur ces figures on a choisi comme abscisse log i et comme ordonnée l'angle θ. (Le système des logarithmes est le système de Briggs à base 10.) Sur chaque courbe est indiquée la valeur correspondante de $H_0\rho_0$.

Pour l'action H, son logarithme correspondant à un log i donné se trouve à l'aide de la ligne droite sur chaque figure.

On remarquera les deux systèmes différents de courbes, l'un correspondant au cas $C_d < C_D$, l'autre au cas $C_d > C_D$. Si deux courbes appartenant aux différents systèmes se coupent, on a représenté en pointillé les parties qui ne doivent pas être utilisées.

(A suivre.)

COMPTE RENDU DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE ET D'HISTOIRE NATURELLE DE GENÈVE

Séance du 5 octobre 1911

M. le prof. Emile Yung expose les résultats des recherches faites dans son laboratoire, par M. Lubecki, sur la *structure de l'ovispermiducte et de la glande albuminipare chez l'Hélix pomatia.*

La paroi de la gouttière ovulaire de ce Gastéropode renferme de grandes cellules glandulaires pyriformes qui débouchent chacune séparément dans la cavité de la gouttière et y apportent une substance mucilagineuse destinée à former la membrane externe de l'œuf.

Outre ces glandes, il existe tout le long du canal séminal une glande dite prostatique composée de nombreux follicules tapissés par deux sortes de cellules dont les unes de forme pyramidale et de petite taille ont conservé les caractères de cellules épithéliales, alors que les autres plus grandes et prismatiques sont évidemment de nature glandulaire. Le protoplasma de ces dernières, fortement réticulé contient de nombreuses granulations calcaires et le noyau de ces mêmes cellules est très chargé de nucléine. Quelles sont les relations entre ces deux genres de cellules? M. Lubecki a réussi à établir que les cellules pyramidales représentent les éléments régénérateurs des cellules prismatiques. Quant à la fonction de ces dernières, nul doute qu'elles ne fournissent à la coque de l'œuf la matière calcaire qui incruste celle-ci. La glande prostatique serait donc une glande éminemment calcaire.

La glande albuminipare de son côté est aussi constituée de deux

sortes de cellules ressemblant beaucoup aux précédentes. Les cellules prismatiques glandulaires sont ici chargées d'albumine accumulée sous forme de gouttelettes dans leur protoplasma et qui est conduite à l'oviducte par un canal excréteur à section triangulaire tapissé d'un épithélium cilié. Après la ponte, la glande albuminipare contient encore beaucoup d'albumine, mais celle-ci est ultérieurement utilisée comme réserve alimentaire pendant l'hibernation. Si l'on suit l'état des éléments de la glande au cours de cette dernière, l'on constate la disparition progressive de l'albumine et la diminution de la chromatine dans les noyaux des cellules prismatiques dont la membrane nucléaire, en revanche, et le réseau de linine apparaissent alors avec une netteté remarquable.

E. Cardoso. — *Sur les densités des phases coexistantes de l'anhydride sulfureux au voisinage du point critique.*

M. E. Cardoso expose le principe de la méthode qui lui a permis de déterminer des phases coexistantes de l'anhydride sulfureux au voisinage du point critique. L'auteur a employé pour chaque série de mesures deux tubes de Natterer de construction et remplissage particuliers. Ces deux tubes étaient placés simultanément dans la même étuve. L'étuve utilisée est du type Ramsay-Gonny légèrement modifiée. Parmi les différentes modifications apportées par l'auteur à cette étuve, il signale qu'il a plongé le ballon régulateur de pression (de très grandes dimensions, cinq à six litres), dans la glace fondante ; ce dispositif lui a permis de maintenir la température constante aussi longtemps qu'il le désirait. Le liquide de chauffe utilisé est du bromo-benzène extra pur. Dans une première série de mesures effectuées avec une paire de tubes de Natterer non munis d'agitateurs, l'auteur a obtenu un diamètre très courbé au voisinage du point critique.

Les mesures reprises sur une autre paire de tubes munis d'agitateurs lui a permis de déterminer les densités des deux phases jusqu'à $^7/_{10}$ de degré du point critique. Ici aussi, il trouve un diamètre courbé, moins cependant que celui obtenu dans la précédente série. La densité critique correspondant à 157°2 (température critique de SO_2 et concordante à 0,05° avec celle obtenue dans un précédent travail en collaboration avec M. Bell) est de 0,513° chiffre différant de plus de 1 % de la valeur déduite de la loi du diamètre nuclitique (0,520). Il attribue cet écart à la conception que l'on se fait de l'état critique ou au dispositif expérimental utilisé. Il a entrepris de nouvelles recherches qui, espère-t-il, lui permettront d'élucider cette question et de savoir à laquelle des deux causes énoncées plus haut ces divergences sont imputables.

M. Raoul Gautier communique à la Société un nouveau don fait à l'Observatoire de Genève et qui augmente d'une façon intéressante et utile les archives météorologiques de cet institut. Il s'agit 1° du *Journal météorologique fait à Genève par Guillaume-Antoine de Luc,* en deux volumes manuscrits, admirablement tenus, et contenant les observations faites à la Cité (n° 219 ancien et n° 19 actuel) du thermomètre, du baromètre et du temps en général, du 1er janvier 1768 au 31 décembre 1800. Cette belle série était déjà connue par les publications d'Alfred Gautier[1] et de George Picot[2], mais M. Raoul Gautier désirait retrouver le manuscrit. Grâce à l'obligeance de M. William de Luc, arrière petit-neveu du météorologiste genevois qui a fait ces observations, cela a été possible, et M. W. de Luc a fait don gracieusement de ces registres et des suivants à l'Observatoire.

C'est spécialement au point de vue de la température que cette série presque ininterrompue d'observations faites une fois par jour, le matin, au même endroit pendant 33 ans, est précieuse. Il y a quelques lacunes de courte durée, provoquées par les troubles politiques de cette époque agitée, ou par les fonctions absorbantes d'hospitalier que Guillaume-Antoine de Luc a exercées pendant plusieurs années. Ces lacunes sont du reste peu importantes et pourront être comblées.

2° Il s'agit aussi de deux gros cahiers contenant le *Journal météorologique fait par Jean-André de Luc neveu*, fils du précédent, du 23 mars 1821 au 14 mai 1847, jour de sa mort. Ces observations ont moins d'intérêt que les précédentes, parce que nous possédons d'autres observations météorologiques de la même époque faites à Genève dans de meilleurs emplacements. Mais elles ont aussi leur intérêt, comme contrôle, quoiqu'elles n'aient pas été faites au même étage et dans la même exposition que celles de Guillaume-Antoine de Luc.

Grâce à M. William de Luc, après Mme Charles Dufour et M. F.-A. Forel, l'année 1911 a été ainsi profitable aux archives météorologiques de l'Observatoire de Genève, et son directeur réitère l'expression de sa reconnaissance à tous ces généreux donateurs.

[1] Notice historique sur les observations météorologiques faites à Genève. *Bibliothèque universelle,* 1843, t. XLIII, p. 128. Voir p. 129 à 137.

[2] Notice sur la température de Genève. *Mémoires de la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève,* t. X, p. 247. Voir p. 365 à 367. (L'écart de 100 pages est dû à une faute d'impression dans le volume des *Mémoires.*)

M. Raoul GAUTIER attire l'attention sur *quelques anomalies de température et de clarté de l'été exceptionnel* que nous venons de traverser et qui a dépassé sa longueur normale, puisqu'il s'étend jusqu'au 15 septembre 1911.

Au mois de *juin*, l'anomalie, qui est normale depuis plus d'un demi-siècle, que la température de la 1re décade soit plus élevée que celles des deux dernières, a été particulièrement caractérisée.

C'est en *juillet* que la température est montée haut; mais c'est seulement à partir du 18 qu'elle a été vraiment exceptionnelle. La température moyenne du mois a atteint 21°,35, en excès de +2°,54 sur la normale. Il y a eu d'ailleurs, depuis 1826, quatre mois de juillet plus chauds à Genève, en 1859, 1870, 1881 et 1905. Le maximum absolu du mois 36°,1, le 24, a été dépassé seulement par ceux du 30 juillet 1827 (36°,2) et du 6 juillet 1870 (36,°4).

La clarté du ciel a été exceptionnelle : la nébulosité est caractétérisée par le chiffre 2,3 et est un minimum à Genève depuis que l'on note cet élément, soit depuis 1847. La durée d'insolation est de 337 heures à l'ancien héliographe et de 389 au nouveau. C'est aussi un maximum, naturellement, depuis les 15 ans que cet appareil est installé à l'Observatoire.

Août se distingue par sa température exceptionnellement élevée, 21°,28, un chiffre qui n'avait pas été atteint à Genève depuis 1826, origine de la série vraiment homogène des températures. Pour la nébulosité, août est très clair, avec 2,6, battu seulement par août 1861, avec 2,2. La durée d'insolation est de 317 et de 347 heures aux deux héliographes. C'est un maximum depuis 1897.

Septembre enfin fournit dans sa première quinzaine *le jour le plus chaud* que l'on ait jamais eu à Genève dans ce mois, le 9, avec 24°,34 et un écart de +7°,70. Comme écart, ce n'est pas un maximum, car le 13 septembre avec 22°,89 a un écart de +7°,77.

L'*été véritable* a commencé le 26 juin au point de vue de la *sécheresse* qui a duré jusqu'au 13 septembre, interrompue seulement par les orages, dont quelques-uns violents et avec averses de grêle, du mois d'août. Au point de vue de la *température*, il n'a commencé que le 30 juin. Et si l'on compte seulement la période de jours vraiment trop chauds, on trouve une durée de *66 jours*, du 12 juillet au 15 septembre, où *tous les jours ont eu des températures supérieures à la normale*. Sauf peut-être en 1834, il n'y a pas eu de période continue aussi chaude dans le passé.

Frédéric REVERDIN et Armand DE LUC. *Constitution de l'éther monométhylique de la dinitrohydroquinone de Weselsky et Benedikt ; dérivés méthylés des p-anisidines dinitrées.*

M. Reverdin a décrit précédemment[1] la *nitramine*, f à 125°,

[1] *Bul. Soc. chim. de France*, 4, t. IX, 1911, p. 43.

d'une *dinitro-p-méthylanisidine* dont la constitution restait à déterminer et qui fournissait par l'action de la lessive de soude l'*éther méthylique d'une dinitrohydroquinone* préparé autrefois par Weselsky et Benedikt [1], à constitution également indéterminée. D'après les réactions de cette nitramine elle devait nécessairement correspondre à l'une des formules :

$$\text{OCH}^3,\ \text{NO}^2,\ \text{NO}^2,\ \text{N}\begin{smallmatrix}\text{CH}^3\\ \text{NO}_2\end{smallmatrix} \quad \text{ou} \quad \text{OCH}^3,\ \text{NO}^2,\ \text{NO}^2,\ \text{N}\begin{smallmatrix}\text{CH}^3\\ \text{NO}^2\end{smallmatrix}$$

et l'éther méthylique de la dinitrohydroquinone de W. et B. à une formule analogue.

MM. Reverdin et de Luc ont préparé la *dinitro-2-6-diméthyl-p-anisidine* pour la soumettre à la nitration. Cette base, f à 150°, est un isomère d'un dérivé, f au-dessus de 300°, obtenu par Meldola [2] ; ce savant en étudie actuellement la structure qu'il suppose être « quinoïdique ». Comme la base f à 150°, fournit par nitration une *nitramine*, f à 139-140°, différente de la nitramine, dont on cherchait à établir la constitution, il en résulte que cette dernière (F = 125°) correspond à la formule II et que l'éther méthylique de W. et B. f à 102°, a la constitution $C^6H^2.\underset{(1)}{OCH^3}.\underset{(3)}{NO^2}.\underset{(5)}{NO^2}.\underset{(4)}{OH}$.

Les auteurs ont essayé, en vain jusqu'à présent, de « méthyler » la dinitro-3-5-p-anisidine pour la transformer ensuite en nitramine f à 125° ; le voisinage des deux « nitro » et de l' « amino » paraît être un obstacle à cette réaction ; ils ont, en revanche, pu « méthyler » la dinitro-2-3- et la dinitro-2-5-p-anisidine, mais ils n'ont obtenu que des dérivés « monométhylés » ; ces deux dinitro-anisidine, possédant chacune un groupe « nitro » voisin de l' « amino » il est du reste normal qu'elles fournissent de préférence des dérivés « monométhylés ».

[1] *Monatshefte, Vienne*, t. II, 1881, p. 369.
[2] *Proc. of. chem. Soc.*, t. XXVI, 1910, p. 232.

COMPTE RENDU DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ VAUDOISE DES SCIENCES NATURELLES

—

Séance du 18 octobre 1911

Paul-L. Mercanton. Appareil pour la mesure de l'enneigement. — Le même. Jeunes rimaies. — Ch. Meylan. Flore bryologique des blocs erratiques du Jura. — E. Bugnion. Observations sur le cœur et la circulation chez les insectes. — Quarles van Ufford. Mesures photochimiques et hygrométriques faites au Mexique. — Galli-Valério. Exposition d'hygiène de Dresde.

M. Paul-L. Mercanton présente un *appareil pour la mesure de l'enneigement* dans le collecteur glaciaire. Cet appareil a été construit sur ses indications par M. Pilet, mécanicien de l'Université, sur le modèle des repères nivométriques imaginés et employés en Laponie par le professeur Hamberg. Il se compose essentiellement d'une tige verticale maintenue debout par un croisillon renforcé de haubans. Tige et croisillon sont faits de tubes d'acier (pour cycles) de 26 mm. de diamètre et 1 mm. d'épaisseur de paroi, raccordés par des manchons convenables. Les quatre branches du croisillon ont chacune 1,10 m. ; la tige centrale est faite de deux segments de 2 m. chacun ; son extrémité supérieure peut recevoir en tout temps une nouvelle rallonge de 2 m.

Cet appareil sera dressé sur le Plateau glaciaire du Trient, directement sur le névé et dans une région plane aussi voisine que possible du nivomètre actuel d'Ornex, qu'il servira à contrôler en quelque sorte. Chaque année, en automne, la longueur de la portion émergente de la tige sera mesurée, et la tige sera prolongée de manière à maintenir son extrémité hors du glacier où tout l'appareil tente à s'enfouir graduellement. En même temps, sa position exacte sera repérée chaque année par rapport aux rochers voisins, ce qui permettra de mesurer le chemin parcouru par la masse du névé qui l'enveloppe.

L'appareil indiquera l'épaisseur de neige constituant le gain annuel du collecteur glaciaire. On sait que l'échelle nivométrique peinte à même le rocher riverain d'un glacier ne peut marquer que la variation du niveau de celui-ci. Il deviendra aussi possible de faire le départ entre l'alimentation du névé et son tassement, tout au moins d'une façon approchée, mais qui ne peut manquer d'être instructive.

M. Paul-L. Mercanton a observé en différents points de nos Alpes, pendant l'été 1911, l'apparition dans la « gencive » glaciaire de *jeunes rimaies* découpant cette gencive à quelques centaines de mètres en amont de la rimaie habituelle, facile à reconnaître. Cette dernière était d'ailleurs exceptionnellement ouverte ; sa lèvre supérieure était très surplombante ; on voyait sur sa tranche des strates correspondant vraisemblement aux résidus neigeux laissés par les étés froids de 1910 et 1910. Certains indices feraient croire d'autre part à un tassement sensible de la surface du névé. On s'explique alors que la gencive glaciaire, alourdie par les résidus neigeux récents, mais non rendue plus résistante à la traction, puisque leur transformation en glace est incomplète, se rompe quelque part au-dessus de la rimaie habituelle. Si l'enseignement suivait une marche progressive pendant quelques années, ces jeunes rimaies s'invétérerait et remplacerait à la longue les rimaies anciennes qui tendaient à s'effacer.

M. Mercanton signale la chose sous réserve d'examen à la lumière d'observations ultérieures et plus abondantes.

M. Ch. Meylan. — *La flore bryologique des Blocs erratiques du Jura.*

Parmi les 200 espèces de muscinées qui croissent sur blocs erratiques déposés dans le Jura par les glaciers quaternaires, il en est 45 qui ne se trouvent jamais sur les calcaires voisins. Ces espèces calcifuges se rencontrent principalement sur les blocs où l'apport calcaire du sol environnant est nul. Elles ont été d'abord considérées comme des reliquats de l'époque glaciaire, mais dans un travail paru en 1894 le Dr Amann a présenté l'opinion contraire soit : que ces espèces spéciales, dans le Jura, aux blocs erratiques siliceux, s'y sont fixées dans les conditions actuelles, et longtemps après le retrait des glaciers. Les études que j'ai poursuivies pendant dix ans m'ont amené à corroborer l'opinion du Dr Amann. Seule une espèce alpine : *Grimmia alpestris*, récoltée au pied du Suchet à 700 m., peut être invoquée pour appuyer la première hypothèse, car il semble impossible que cette espèce ait pu se fixer à une altitude si basse, au cours des conditions climatiques actuelles.

Le professeur E. Bugnion présente quelque *observations sur le cœur* (vaisseau dorsal) et la circulation *chez les Insectes*. — Les espèces qui ont fait l'objet de cette étude sont: *Termes cylonicus* et *Horni* (ouvriers), les larves d'*Odontolabis*, d'*Oryctes rhinoceros*, d'*Aeschna*, d'*Agrion* et de *Corethra plumicornis*. — Ce travail sera publié dans le *Bulletin de la Société murithienne*.

M. Quarles van Ufford donne un résumé et quelques considérations générales des *mesures photochimiques et hygrométriques faites au Mexique* par l'ingénieur Yazidjian et par lui-même. La méthode que les auteurs ont suivie est celle décrite par M. Wiesner dans *Der Lichtgenuss der Pflanzen*. La grande diversité de formes de terrains et de conditions climatériques qu'on rencontre au Mexique entraîne des résultats très divers pour les mesures de lumières. Sur le haut plateau (2300 mètres) la lumière est forte, mais cependant tempérée par la Poussière désertique, dont l'atmosphère se charge de plus en plus pendant la période sèche.

La plus forte intensité de lumière a été trouvée au niveau de la mer sur les plaines côtières de l'Atlantique et du Pacifique, le maximum était en unités Wiesner 2380.

Les auteurs ont remarqué qu'en s'élevant dans les montagnes l'intensité de la lumière diminuait constamment, tandis que l'humidité relative de l'atmosphère augmentait. Sur les hauts sommets (de 4000 à 5050 mètres) l'intensité de la lumière était faible; une généralisation de ce dernier résultat n'est cependant pas possible vu la courte durée des observations et la grande variabilité des conditions atmosphériques.

M. Galli-Valério fait part de ses observations sur l'*exposition d'hygiène de Dresde*.

Séance du 1er novembre

Perriraz. Poa annua. — Galli-Valério et Mme J. Rochat de Jongh. Observations sur les moustiques. — F.-A. Forel. Traversée du Groenland.

M. Perriraz montre que la variété bulbilifère de *Poa annua* est partiellement héréditaire et provient probablement de traumatismes.

M. B. Galli-Valerio et Mme J. Rochaz de Jongh exposent le résultat de leurs *observations sur les moustiques* du 1er novembre 1910 au 1er novembre 1911 : Hivernation des larves et des

images ; fréquence des moustiques pendant l'été de 1911 ; gîtes à moustiques surtout dans le tronc d'un marronnier d'Inde, avec larves de *Culex armatus* ; piqûre de moustiques, entre autres de *Th. annulata ;* destruction des images dans les caves avec pulvérisations de Mistrothan et de Floria à 3 %. A ces observations, ils ajoutent la découverte qu'ils ont faite du *Phlebotomus papatasi*. hop. à Orbe.

M. F.-A. Forel expose les plans de l'expédition projetée par le Dr Alfred de Quervain, du Bureau central de météorologie de Zurich, pour la *traversée du Groënland* par le 70e de latitude nord ; l'expédition, qui aura lieu dans l'été de 1912, cherchera à passer de la côte occidentale, dans les environs de l'île de Disko, à la station d'Angmagsalik sur la côte orientale. M. Forel justifie ce plan qui diffère de celui exécuté par Nansen en 1888, et se fondant sur le voyage d'exploration préliminaire fait sur l'inlandsis en 1909 par de Quervain, Stolberg et Bäbler. Il indique le programme général des recherches géographiques, glaciologiques et météorologiques proposées soit aux explorateurs qui feront le « raid » de la traversée de l'inlandsis, soit à la compagnie d'Esquimaux guidée par deux naturalistes suisses, qui les accompagnera jusqu'au névé de l'inlandsis.

BULLETIN SCIENTIFIQUE

PHYSIQUE

WALTHER RITZ. OEUVRES, publiées par la *Société suisse de physique*. Un vol. gr. in-8° de 541 p., avec portrait de l'auteur. Paris, Gauthier-Villars, lib.-éd., 1911.

Nous tenons à signaler dès aujourd'hui en tête de ce bulletin bibliographique l'apparition d'un livre, d'un très beau livre, qui fait sensation dans le monde de la physique parce qu'il lui donne dans son ensemble, l'œuvre d'un savant de génie enlevé dans sa fleur au moment où la science fondait sur lui ses plus belles espérances.

La Société suisse de physique a tenu à honneur de se charger de la publication des œuvres de Walther Ritz, le jeune physicien suisse, mort le 7 juillet 1909 à l'âge de 31 ans.

« Elle ne s'est pas proposé seulement », comme le dit l'avertissement en tête du livre, « en contribuant à faire connaître des travaux scientifiques d'une rare beauté, d'attirer encore une fois l'attention des mathématiciens et des physiciens sur l'œuvre d'un esprit d'élite. Mais elle est convaincue qu'en facilitant la diffusion d'idées nouvelles et hardies, elle favorise les progrès de la science. Beaucoup d'entre elles, même celles qui ont dès à présent prouvé leur fécondité ouvrent des voies nouvelles et réclament des continuateurs. »

Ces quelques mots marquent bien la haute valeur de la publication que nous annonçons ici, et en fait mieux comprendre le puissant intérêt que tout ce que nous pourrions ajouter ici.

C'est M. Pierre Weiss le distingué professeur de physique au Polytechnicum de Zurich, qui s'est chargé du travail de coordination et de mise en ordre des 27 mémoires et notes laissés par Ritz et auxquels sont venues se joindre quelques lettres.

M. Weiss, un de ceux qui avec ses amis de Göttingue ont pénétré le plus avant dans la pensée intime, nous voudrions dire dans l'âme de Ritz, était tout particulièrement désigné pour ce travail. Il l'a prouvé dans la préface du livre, qui est de lui et dans

laquelle il retrace la belle et trop courte carrière du jeune savant. Elle est émouvante à lire cette notice et le récit de cette lutte ardente contre la maladie chez une belle intelligence qui sent tout ce qu'elle pourrait et voudrait produire pour la science est poignant.

Nous avons seulement pour aujourd'hui voulu signaler l'apparition de ce livre. Nous y reviendrons.

Disons cependant encore que l'édition, confiée à MM. Gauthier-Villars et très soigneusement exécutée par eux, en fait dans la forme comme dans le fond, un très bel ouvrage et un beau monument élevé à la mémoire de celui qui fut Walther Ritz.

E. S.

H. Ebert. Lehrbuch der Physik, nach Vorlesungen an der technischen Hochschule zu München, Ier Band, Mechanik-Wärmelehre, mit 168 Abbild. i. Text., Leipzig und Berlin, Verl. v. B. G. Teubner, 1912.

C'est un très intéressant traité que nous donne ici M. Ebert, professeur de physique à l'Ecole polytechnique de Munich, et MM. Doflein et Fischer, les éditeurs de l'excellente collection *Naturwissenschaft und Technik in Lehre und Forschung*. Sortant de la voie battue suivie à peu près invariablement par les auteurs de traités de physique, qui développent dans un ordre toujours le même, les lois de l'acoustique, de la chaleur, de la lumière, de l'électricité et du magnétisme. M. Ebert s'efforce de fonder l'exposé général de sa science sur une base plus philosophique en partant d'un ou deux principes fondamentaux qui dominent tout, auxquels il rapporte tout, qui lui servent de fils conducteurs dans tout son enseignement et devront servir de fils conducteurs dans tout le cours de leur carrière active, aux ingénieurs auxquels il est destiné et qui s'en seront pénétrés pour les faire passer dans la pratique.

Comme point de départ de son enseignement de la physique, il prend la notion de l'*énergie* avec toutes les formes qu'elle peut revêtir et le principe de la *conservation de cette énergie*, en lui adjoignant la notion de l'*entropie*.

Ce volume, le premier du traité, contient la mécanique et la chaleur. Un coup d'œil sur la table des matières qui y sont traitées montre d'emblée la pensée directrice de l'auteur, qu'il a du reste empruntée à quelques-uns de ses devanciers, à F. Auerbach, par exemple, dans son *Kanon der Physik*, comme il le reconnaît dans sa préface. Ainsi la première partie et les premiers chapitres sont intitulés : les différentes formes d'énergie mécanique — la notion du travail et ses facteurs — les transformateurs du travail

— travaux de la tension superficielle (capillarité, absorption des gaz) — travaux par changement de volume, (loi Boyle-Mariotte, pression osmotique etc.), travaux de changement de forme, (élasticité, etc.) — énergie cinétique — compensations mécaniques.

La seconde partie contenant la chaleur est traitée suivant la même méthode.

Nous n'en dirons pas davantage ici et nous nous bornons à signaler cet ouvrage à tous ceux qui sont appelés à enseigner la physique à de futurs ingénieurs.

G. Urbain. Introduction a l'étude de la spectrochimie. 1 vol. in-4° ; Paris, Librairie Hermann, 1911.

Le livre que vient de publier M. Urbain, professeur à la Sorbonne, s'adresse aux chimistes désireux de se familiariser avec les études si pleines de promesses de la spectrochimie. En spécialiste distingué, M. Urbain connait mieux que personne les difficultés que présentent ces délicates recherches. Aussi s'est-il attaché à décrire avec un soin tout particulier les causes d'erreur qui peuvent si facilement s'introduire, et l'influence des sources de lumière sur la nature même des spectres produits. C'est là un mérite précieux de cet ouvrage qui évitera aux chercheurs bien des tâtonnements et bien des erreurs. Si, comme le dit l'auteur dans sa préface, le traité n'a pas la prétention d'être complet, il est permis d'ajouter qu'il renferme cependant l'essentiel et cela sous une forme particulièrement claire et rapide. Bien des physiciens et des chimistes seront reconnaissants à son auteur de cette qualité si précieuse à l'heure actuelle. D'ailleurs la réputation que s'est acquise M. Urbain dans le domaine de la spectrochimie et son application délicate à la recherche des éléments des terres rares suffit à assurer à l'ouvrage qui vient de paraître un légitime succès.

C. E. G.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES A

L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

PENDANT LE MOIS

D'OCTOBRE 1911

Le 1, pluie dans la nuit, à 7 h. du matin et à 9 h. du soir ; neige sur les montagnes environnantes.
2, pluie dans la nuit et dans la journée, forte bise jusqu'à 4 h. du soir ; rosée le soir.
3, gelée blanche le matin ; rosée le soir.
4, pluie pendant la plus grande partie de la journée.
5, pluie faible à 11 h. du matin et dans l'après-midi.
6, pluie dans la soirée.
7, pluie dans la nuit ; rosée le soir.
8, pluie pendant la plus grande partie de la journée.
9, pluie dans la nuit ; plusieurs orages depuis 4 h. 40 m. du soir et pendant toute la soirée.
10, forte bise l'après-midi.
12, rosée le matin et le soir.
13, pluie à 7 h. et à 9 h. du soir.
les 14, 15 et 16, brouillard le matin.
le 18, rosée le soir.
19, forte rosée le matin.
les 20 et 21, rosée le soir.
le 22, pluie dans la nuit et jusqu'à 10 h. du matin
23, rosée le soir.
24, pluie dans la nuit et jusqu'à 9 h. du matin ; rosée le soir.
25, forte rosée le matin ; pluie dans l'après-midi ; neige sur le Jura.
26, pluie dans la nuit.
27, pluie dans la nuit et pendant la plus grande partie de la journée.
28, neige sur les montagnes environnantes ; pluie le soir et dans la nuit.
30, rosée le soir.
31, **première gelée blanche à glace de la saison.**

GENÈVE — OCTOBRE 1911

Jour du mois	Pression atmosphérique 700mm +							Vent					Nébulosité				Durée d'insolation	Pluie	
	7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Barographe Max.	7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Vit. moy. kil. h.	7 h.	1 h.	9 h.	Moy. 6 obs.		Hauteur 24 h.	Nombre d'heures
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm										h.	mm.	
1	23.5	23.9	25.3	24.00	− 2.86	22.0	25.5	WSW. 1	N. 1	SE. 1	N. 1	4.4	10	10	10	10	. . .	2.9	2
2	25.7	25.4	26.0	25.62	− 1.21	25.2	26.2	NNW. 2	NNE. 2	NW. 1	NNE. 1	10.0	7	7	1	4	6.6	0.9	1
3	24.6	23.5	23.7	24.06	− 2.73	22.7	25.8	WNW. 0	N. 1	NW. 1	NNW. 1	2.3	2	7	9	4	**7.9**	1.5	2
4	22.8	22.3	24.5	23.17	− 3.59	22.2	24.6	W. 0	WSW. 1	NNW. 1	calme	1.5	10	10	10	10	. . .	**34.1**	**11**
5	25.8	26.0	26.6	25.89	− 0.84	25.0	26.6	NW. 0	NNE 1	WNW. 0	calme	1.6	9	9	9	9	0.3	0.3	1
6	27.1	27.2	25.5	26.65	− 0.04	25.1	27.8	NNW. 0	NNE. 2	NNE. 0	NNE. 1	4.8	10	10	10	10	. . . .	11.2	6
7	26.8	27.8	29.3	27.43	+ 0.78	24.8	29.5	NW. 0	SSW. 2	SSW. 1	SSW. 1	7.5	7	1	9	4	7.6	2.2	4
8	28.7	26.6	28.2	28.20	+ 1.57	26.4	29.1	SE. 1	N. 1	N. 1	N. 1	2.7	10	10	10	10	1.2	29.0	11
9	27.7	27.1	28.4	27.70	+ 1.10	26.0	28.9	NW. 0	N. 1	NE. 1	var.	2.5	10	8	10	9	3.0	4.5	2
10	31.3	32.3	34.7	32.02	+ 5.45	29.4	34.9	SE. 0	NE. 2	NNE 2	NNE. 1	**12.2**	9	3	10	8	6.1	. . . .	. . . .
11	35.0	35.4	35.7	**35.34**	**+ 8.80**	34.9	35.9	NNE. 2	NNE. 1	NE. 1	NNE. 1	9.4	10	10	10	10	. . . .	. . . .	. . . .
12	34.7	33.7	32.4	33.90	+ 7.39	31.8	35.8	ENE. 1	NNE. 1	NE. 0	NNE. 1	3.6	10	10	10	10	. . . .	. . . .	. . . .
13	30.5	29.3	29.1	29.90	+ 3.42	28.7	31.7	NE. 0	NW. 1	W. 0	calme	0.9	10	10	10	10	. . . .	0.6	2
14	28.7	28.2	28.8	28.60	+ 2.15	28.0	29.0	W. 0	NW. 1	NNW 1	calme	0.7	10	8	3	8	2.9	. . . .	. . . .
15	29.7	29.5	29.5	29.63	+ 3.21	29.3	30.2	W. 0	N. 1	WNW. 0	calme	1.3	9	2	9	4	5.2	. . . .	. . . .
16	29.9	28.7	28.7	29.11	+ 2.74	28.1	30.0	WNW. 0	N. 1	NNE. 1	var.	3.8	10	4	10	8	4.9	. . . .	. . . .
17	28.7	28.5	30.0	28.94	+ 2.57	28.5	30.7	NNE. 1	NNE. 1	NE. 1	NNE. 1	9.0	10	9	10	10	1.6	. . . .	. . .
18	30.4	29.6	30.6	30.17	+ 3.82	29.0	30.9	NNE 1	NNE. 1	E 1	NNE. 1	3.4	10	2	0	4	4.9	. . . .	. . . .
19	30.7	30.7	31.7	30.89	+ 4.56	30.5	31.9	SE. 0	S. 0	S. 0	calme	1.1	6	8	0	8	0.4	0.2	2
20	32.1	31.5	31.0	31.50	+ 5.19	30.5	32.8	S. 0	WSW. 0	W. 0	calme	1.6	10	2	0	4	5.5	. . .	. . . .
21	28.2	26.1	22.4	26.27	− 0.02	21.9	30.3	W. 0	NNW. 1	WNW. 1	var.	2.9	10	3	8	8	5.3	4.9	3
22	22.6	23.1	23.9	22.80	− 3.47	21.7	24.1	SSW 1	SSW. 1	SSW. 1	SSW. 1	8.8	10	9	2	6	4.2	8.3	3
23	26.3	26.2	25.0	25.70	− 0.55	25.0	27.2	SW. 1	WSW. 1	SW. 0	SSW. 1	8.6	9	2	10	7	7.1	8.4	7
24	25.3	25.3	22.6	24.68	− 1.56	21.1	26.4	NE. 1	SW. 1	SW. 1	var.	1.9	10	5	0	4	6.3	. . . .	. . . .
25	17.7	16.8	18.8	18.23	− 7.99	16.0	21.0	NW. 1	SSW. 1	WSW. 1	SSW. 1	5.4	5	10	8	7	0.6	12.8	5
26	20.4	19.5	19.9	19.98	− 6.23	19.2	21.4	WSW. 1	SSW. 2	SSW. 1	SSW. 1	11.4	4	2	10	7	6.6	0.1	1
27	16.1	14.4	18.3	**16.61**	**− 9.59**	**14.0**	19.2	WSW. 1	SSW. 2	NNW. 1	SSW. 1	10.6	9	8	10	10	2.1	14.8	10
28	18.5	19.9	22.6	19.88	− 6.30	18.2	23.2	SSW. 1	SSW. 2	SW. 1	SSW. 1	6.9	8	9	10	9	2.4	1.0	1
29	26.5	28.2	33.7	28.57	+ 2.40	23.7	34.8	W. 1	WNW. 0	NE. 1	var.	2.1	7	10	2	9	0.5	. . .	. . . .
30	36.0	34.8	34.9	34.84	+ 8.67	33.9	**36.0**	NNE. 1	N. 1	NW. 0	N. 1	5.1	8	0	0	2	7.4	. . . .	. . . .
31	31.4	30.7	31.5	31.33	+ 5.17	30.5	32.8	NW. 1	NNW. 1	WNW. 0	calme	1.1	0	6	10	6	5.9	. . . .	. . . .
Mois	27.21	26.84	27.53	27.15	+ 0.64							4.82	8.4	6.6	7.1	7.4	106.5	137.7	77

Jour du mois	Température 7 h.	Température 1 h.	Température 9 h.	Température Moyenne 8 Observ.	Température Ecart avec la normale	Température Min.	Température Max.	Fraction de saturation en % 7 h.	Fraction de saturation en % 1 h.	Fraction de saturation en % 9 h.	Fraction de saturation en % Moyenne 8 Obs.	Fraction de saturation en % Ecart av. la norm.	Fraction de saturation en % Min.	Fraction de saturation en % Max.	Tempér. du Rhône Midi	Tempér. du Rhône Ecart avec la normale	Limnimètre
	0	0	0	0	0	0	0								0	0	mm.
1	+ 6.7	+ 9.4	+ 5.8	+ 7.45	− 1.96	+ 5.5	+11.8	85	70	97	81	0	60	98	—	—	1715
2	7.5	10.4	4.3	7.52	− 1.72	3.0	11.4	56	49	86	66	−15	45	92	14.6	− 1.0	1710
3	1.9	9.7	6.5	5.74	− **6.34**	0.7	11.0	95	54	85	75	− 6	50	95	14.6	− 0.8	1705
4	6.3	7.5	5.4	6.38	− 5.53	5.1	8.5	97	100	97	**96**	**+15**	82	100	14.6	− 0.7	1700
5	5.2	10.5	7.8	7.45	− 4.29	3.4	11.1	97	74	96	90	+ 9	68	99	14.5	− 0.7	1725
6	7.1	11.3	10.3	9.29	− 2.28	6.2	12.1	94	83	94	88	+ 7	67	97	14.5	− 0.6	1725
7	10.4	19.0	11.5	13.19	+ 1.79	9.0	**19.8**	97	41	78	76	− 5	43	98	14.6	− 0.4	1675
8	8.8	13.5	11.1	10.66	− 0.57	8.1	15.0	94	76	97	93	+11	73	100			1675
9	10.5	14.5	13.4	12.57	+ 1.52	9.8	16.7	96	80	97	92	+10	80	98	14.5	− 0.2	1785
10	12.2	15.6	10.7	12.80	+ 1.92	10.3	17.0	98	76	75	87	+ 5	74	99	14.7	+ 0.1	1770
11	9.7	11.6	10.5	10.61	− 0.10	9.1	12.5	84	78	84	85	+ 3	75	92	14.4	− 0.1	1765
12	9.4	11.2	9.4	10.00	− 0.53	9.0	12.1	92	85	96	92	+10	80	97	14.1	+ 0.1	1715
13	8.9	11.2	10.6	10.16	− 0.20	8.4	12.1	97	90	98	95	+13	89	98	14.1	+ 0.2	1710
14	10.8	14.7	13.3	12.70	+ 2.52	10.2	17.6	100	82	91	93	+11	75	100	14.5	+ 0.4	1695
15	9.8	15.6	12.3	12.61	+ 2.61	8.9	17.1	97	79	83	90	+ 8	75	99	—	—	1685
16	10.8	16.4	14.0	13.85	+ 4.02	9.5	17.6	100	75	80	88	+ 6	60	100	14.6	+ 0.8	1675
17	11.7	13.7	11.9	12.34	+ 2.69	11.4	15.2	87	76	85	84	+ 2	70	90	14.1	+ 0.7	1655
18	10.7	13.0	9.6	11.55	+ 2.08	8.5	15.3	90	77	96	85	+ 2	63	96	14.5	+ 1.0	1655
19	6.4	12.0	10.0	9.41	+ 0.15	5.5	14.3	97	90	97	94	+11	58	98	14.4	+ 1.0	1640
20	8.7	15.9	10.0	10.99	+ 1.88	7.9	19.1	100	73	95	93	+10	68	100	14.2	+ 0.9	1640
21	6.4	12.1	10.5	9.68	+ 0.75	5.8	14.4	100	86	97	94	+11	80	100	14.2	+ 1.0	1625
22	12.0	16.8	11.1	13.44	+ 4.69	9.0	18.0	93	71	82	84	+ 1	65	96	—	—	1655
23	13.8	18.0	12.3	**14.60**	+ **6.03**	11.6	19.0	59	40	73	**61**	**−22**	**39**	85	14.4	+ 0.5	1620
24	9.5	16.8	7.7	11.01	+ 2.62	6.5	17.0	100	62	91	87	+ 4	55	100	12.0	− 0.7	1610
25	5.6	7.7	7.1	6.61	− 1.60	2.8	9.5	87	94	92	89	+ 6	72	95	12.3	− 0.3	1605
26	6.9	13.7	11.5	10.27	+ 2.23	6.8	14.4	75	50	57	63	−20	45	85	12.8	+ 0.3	1625
27	11.4	16.6	7.1	11.11	+ 3.25	6.4	16.9	60	50	96	68	−15	50	96	12.5	+ 0.2	1575
28	7.5	12.1	8.5	9.05	+ 1.37	5.7	13.5	80	54	83	74	− 9	52	90	8.5	− 3.7	1595
29	5.3	10.3	6.9	8.08	+ 0.58	5.0	12.0	98	84	83	85	+ 2	70	98	—	—	1655
30	+ 5.8	9.3	3.8	6.81	− 0.51	+ 3.2	11.5	77	62	93	77	− 6	60	94	7.8	− 4.1	1650
31	− 0.7	+10.5	+ 7.3	+ **5.35**	− 1.79	− **1.3**	+11.4	100	68	91	88	+ 5	65	100	11.3	− 0.5	1620
Mois	+ 8.29	+12.92	+ 9.52	+10.11	+ 0.23	+ 6.81	+14.37	90	75	89	84	+ 1			13.55	− 0.43	1673

MOYENNES DE GENÈVE. — OCTOBRE 1911

Correction pour réduire la pression atmosphérique de Genève à la pesanteur normale : + 0mm.02. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 700mm +

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re déc.	26.06	26.04	26.41	26.78	26.21	26.04	26.95	27.30	26.47
2e »	31.27	31.06	31.04	31.25	30.51	30.13	30.43	30.72	30.80
3e »	24.75	24.43	24.44	24.75	24.09	23.90	24.45	24.75	24.44
Mois	27.28	27.09	27.21	27.50	26.84	26.60	27.19	27.50	27.15

Température.

	°	°	°	°	°	°	°	°	°
1re déc.	+ 7.61	+ 7.23	+ 7.66	+10.24	+12.14	+11.62	+ 9.51	+ 8.43	+ 9.30
2e »	10.06	9.73	9.69	11.39	13.53	14.00	12.24	10.76	11.42
3e »	8.17	7.56	7.59	10.28	13.08	11.90	9.89	8.62	9.64
Mois	+ 8.60	+ 8.15	+ 8.29	+10.63	+12.92	+12.49	+10.53	+ 9.25	+10.11

Fraction de saturation en %.

1re décade	90	91	91	79	71	76	86	91	84
2e »	95	95	94	90	80	80	90	93	90
3e »	86	85	84	76	66	69	81	85	79
Mois	90	90	90	82	75	75	85	90	84

Dans ce mois l'air a été calme 285 fois sur 1000.

Le rapport des vents $\frac{NNE}{SSW} = \frac{68}{44} = 1.55$

Moyennes des 3 observations (7h, 1h, 9h)

		mm
Pression atmosphérique......		27.19
Nébulosité..................		7.4
Température	$\frac{7+1+9}{3}$..	+10°.24
	$\frac{7+1+2\times9}{4}$..	+10°.06
Fraction de saturation........		85 %

Valeurs normales du mois pour les éléments météorologiques, d'après Plantamour :

	mm
Press. atmosphér.. (1836-1875).	26.51
Nébulosité.. ..... (1847-1875).	6.9
Hauteur de pluie.. (1826-1875).	101mm.0
Nombre de jours de pluie. (id.).	12
Température moyenne ... (id.).	+ 9°.88
Fraction de saturat. (1849-1875).	83 %

Observations météorologiques faites dans le canton de Genève

Résultats des observations pluviométriques

Station	CÉLIGNY	COLLEX	CHAMBÉSY	CHATELAINE	SATIGNY	ATHENAZ	COMPESIÈRES
Hauteur d'eau en mm.	128.0	142.6	140.2	137.7	151.6	144.3	120.0

Station	VEYRIER	OBSERVATOIRE	COLOGNY	PUPLINGE	JUSSY	HERMANCE
Hauteur d'eau en mm.	123.0	137.7	132.2	123.8	127.6	135.0

Insolation à Jussy : 91 h. 7.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AU

GRAND SAINT-BERNARD

PENDANT LE MOIS

D'OCTOBRE 1911

Le 1, très violente bise.
2, violente bise et neige.
les 3, 4, 5, 6, 15, 18 et 25, très fort vent.
5, 6, 24, 26 et 28, neige.
7, 9, 10 et 25, pluie.
7, 8, 13, 16, 17, 19, 21, 22 et 27, fort vent.

Le 1er octobre gel complet du lac.

GRAND SAINT-BERNARD — OCTOBRE 1911

Jour du mois	Pression atmosphérique 500mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Barographe Max.	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Pluie Hauteur (24 h.)	Neige Hauteur (24 h.)
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.									mm.	cm.
1	57.5	56.9	58.1	57.5	− **8.4**	56.7	58.3	NE. 5	NE. 5	NE. 4	NE. 5	10	10	10	10	....	...
2	57.9	59.5	60.6	59.3	− 6.5	57.7	60.7	NE. 1	NE. 4	NE. 4	NE. 1	6	5	10	7	18.2	14
3	60.2	60.3	63.4	61.3	− 4.4	60.1	63.6	SW. 2	SW. 4	SW. 3	SW. 3	4	10	10	8	....	...
4	62.1	61.8	61.1	61.7	− 3.9	61.0	62.2	SW. 1	SW. 4	SW. 4	SW. 1	10	10	10	10	....	...
5	62.3	63.6	63.9	63.3	− 2.2	61.3	64.2	SW. 1	SW. 3	SW. 3	SW. 3	10	10	10	10	**27.0**	18
6	65.4	66.3	66.3	66.0	+ 0.6	64.7	66.4	SW. 1	SW. 3	SW. 3	SW. 3	10	10	10	10	10.2	6
7	66.4	68.1	69.0	67.8	+ 2.5	66.4	69.2	SW. 3	SW. 2	SW. 2	SW. 2	10	7	5	7	20.1	....
8	69.3	68.6	69.1	69.0	+ 3.8	68.3	69.4	SW 2	SW. 3	SW. 2	SW. 2	10	10	10	10	....	....
9	69.1	69.0	68.4	68.8	+ 3.7	68.2	69.2	SW. 1	SW. 1	SW. 2	SW. 1	3	3	10	5	7.5	....
10	69.5	70.5	71.5	70.5	+ 5.4	69.0	71.9	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	8	6	0	5	1.0	....
11	72.4	73.2	73.8	**73.1**	+ **8.1**	72.0	**73.9**	SW 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	0	1	0	0	....	....
12	73.2	73.2	72.3	72.9	+ 8.0	71.8	73.5	NE. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	0	0	3	1	....	....
13	70.6	69.9	69.4	70.0	+ 5.2	69.0	71.6	SW. 1	SW. 2	SW. 2	SW. 2	3	0	0	1	....	....
14	68.2	68.2	68.9	68.4	+ 3.7	68.2	69.0	SW. 2	SW. 1	SW. 1	SW. 1	7	5	0	4	....	...
15	68.9	69.1	70.0	69.3	+ 1.7	68.8	70.0	SW. 1	SW. 2	SW. 3	SW. 2	1	4	0	2	....	....
16	70.0	69.7	69.7	69.8	+ 5.3	69.6	70.0	NE. 1	SW. 2	SW. 3	SW. 2	2	4	3	3	....	....
17	69.2	69.8	70.3	69.8	+ 5.4	69.2	70.3	SW. 1	SW. 3	SW. 3	SW. 2	7	10	10	9	....	....
18	70.4	70.8	71.6	70.9	+ 6.5	70.3	71.7	SW. 3	SW. 2	SW. 5	SW. 3	10	10	2	7	....	....
19	71.0	70.6	70.7	70.8	+ 6.5	70.5	71.5	SW. 2	SW. 2	SW 2	SW. 2	9	10	10	10	....	..
20	70.3	70.1	69.9	70.1	+ 5.9	69.1	70.5	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	10	5	0	5	..	....
21	68.1	67.5	65.6	67.1	+ 3.0	64.9	69.0	NE. 1	SW. 2	SW. 3	SW. 2	0	4	10	5	....	....
22	64.1	64.0	64.3	64.1	+ 0.1	64.0	64.9	SW. 2	SW. 2	SW. 3	SW. 2	10	10	4	8	....	....
23	65.0	64.8	64.6	64.8	+ 0.8	63.8	65.0	SW. 1	SW. 1	SW. 1	SW 1	5	3	9	6	11.0	....
24	62.0	63.0	63.0	62.7	− 1.2	62.0	63.7	NE 1	NE. 1	SW. 1	NE 1	10	10	0	7	16.3	**29**
25	58.9	55.6	56.8	**57.1**	− 6.7	**55.4**	61.9	SW. 5	SW. 5	NE. 1	SW. 5	10	10	0	7	6.1	...
26	58.2	57.4	60.1	58.6	− 5.1	57.0	60.1	NE. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	1	0	5	2	11.7	11
27	59.1	58.0	56.3	57.8	− 5.8	56.3	60.1	SW. 1	SW. 2	SW 2	SW. 2	10	10	10	10	...	....
28	56.3	58.1	60.9	58.4	− 5.2	56.1	62.0	SW. 1	SW. 1	SW. 1	SW 1	5	1	1	2	12.3	12
29	63.1	65.2	68.0	65.4	+ 1.9	62.1	68.9	SW. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	5	7	10	7	....	....
30	69.7	70.3	70.4	70.1	+ 6.7	69.0	70.5	NE. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	0	0	0	0	...	...
31	68.8	68.2	68.2	68.4	+ 5.0	68.1	70.4	SW. 1	SW. 1	SW. 1	SW. 1	0	3	10	4	...	....
Mois	65.72	65.85	66.33	65.97	+ 1.37							6.0	6.1	5.5	5.9	141.4	90

GRAND SAINT-BERNARD — OCTOBRE 1911

Jour du mois	Température 7 heures	1 heure	9 heures	Moyenne 3 Observ.	Ecart avec la normale	Minimum	Maximum	Fraction de saturation en % 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Min.	Max.
	°	°	°	°	°	°	°						
1	- 7.2	- 6.2	- 6.6	- 6.7	- 8.2	- 8.2	- 0.4	95	95	96	95	93	98
2	- 8.2	- 6.2	- 8.2	- **7.5**	- **8.9**	- 8.8	- 5.0	92	84	95	90	80	97
3	- 9.6	- 4.6	- 5.6	- 6.6	- 7.8	- **10.2**	- 4.1	52	74	99	75	16	100
4	- 1.8	- 3.4	- 3.2	- 3.8	- 4.9	- 6.0	- 2.9	99	96	96	97	95	100
5	- 2.0	- 1.0	- 1.6	- 1.5	- 2.4	- 3.7	- 0.3	96	96	96	96	96	98
6	- 1.4	- 0.2	- 0.2	- 0.6	- 1.4	- 1.9	+ 0.3	99	100	96	**98**	95	100
7	+ 1.6	+ 2.3	+ 0.3	+ 1.4	+ 0.8	- 0.2	2.8	96	89	91	92	86	98
8	- 0.6	0.4	0.6	0.1	- 0.4	- 0.7	2.0	95	95	97	96	94	99
9	+ 2.9	5.6	2.6	3.7	+ 3.4	+ 2.1	6.3	85	81	96	87	78	98
10	1.2	5.0	2.0	2.7	+ 2.5	1.0	5.8	89	77	84	83	72	91
11	2.0	7.1	5.0	4.7	+ 4.7	1.8	8.8	69	52	55	59	44	74
12	3.8	7.2	4.1	**5.0**	+ **5.1**	3.6	**9.3**	51	55	61	56	42	66
13	2.8	5.8	2.0	3.5	+ 3.8	2.0	6.1	61	60	70	64	57	75
14	2.1	5.9	3.1	3.7	+ 4.1	1.9	6.6	60	66	83	70	54	89
15	2.1	5.1	2.6	3.3	+ 3.9	2.0	5.4	86	71	83	80	68	90
16	+ 1.0	+ 3.3	+ 1.0	+ 1.8	+ 2.5	+ 0.6	3.8	83	60	81	75	55	87
17	- 0.5	- 0.3	- 1.2	- 0.7	+ 0.2	- 1.4	1.0	84	89	86	86	82	91
18	- 1.6	- 0.1	+ 0.8	- 0.3	+ 0.8	- 1.8	1.4	85	74	50	70	46	87
19	+ 0.8	- 1.0	- 0.2	- 0.1	+ 1.1	- 1.2	1.1	57	86	83	75	53	89
20	+ 0.1	+ 4.0	+ 1.0	+ 1.7	+ 3.1	- 0.6	4.6	67	59	70	65	54	76
21	- 0.1	+ 3.0	0.0	+ 1.0	+ 2.5	- 0.3	3.3	68	64	88	73	60	91
22	- 0.5	0.0	0.0	- 0.2	+ 1.5	- 0.8	0.4	90	88	86	88	83	92
23	- 2.2	+ 2.8	+ 1.0	+ 0.5	+ 2.3	- 2.2	4.1	58	60	39	52	36	68
24	- 1.5	- 0.4	- 1.0	- 1.0	+ 1.0	- 2.8	+ 1.2	86	76	36	66	32	88
25	- 3.2	- 2.2	- 6.4	- 3.9	- 1.8	- 6.9	- 1.0	89	89	85	88	80	94
26	- 8.5	- 3.4	- 3.4	- 5.1	- 2.8	- 9.2	- 3.2	76	64	53	64	50	81
27	- 5.5	- 3.9	- 3.3	- 4.2	- 1.8	- 5.9	- 3.1	86	87	88	87	82	93
28	- 6.5	- 0.5	- 5.4	- 4.1	- 1.5	- 7.2	0.0	85	75	67	76	63	87
29	- 6.7	- 1.4	- 4.8	- 4.3	- 1.6	- 7.0	- 0.6	62	49	86	66	47	89
30	- 6.5	- 1.4	- 4.8	- 4.2	- 1.3	- 7.6	- 1.1	54	42	58	51	37	64
31	- 5.6	+ 0.4	- 1.6	- 2.3	+ 0.7	- 7.0	+ 1.0	38	34	34	**35**	**29**	47
Moy.	- 2.01	+ 0.70	- 1.01	- 0.77	- 0.29	- 2.78	+ 1.73	77	74	77	76		

MOYENNES DU GRAND SAINT-BERNARD. — OCTOBRE 1911

Correction pour réduire la pression atmosphérique du Grand Saint-Bernard à la pesanteur normale : — $0^{mm}.22$. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

	Pression atmosphérique : 500mm +				**Fraction de saturation en %**			
	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
	mm	mm	mm	mm				
1re décade	63.97	64.46	65.14	64.52	90	89	95	91
2e »	70.42	70.46	70.66	70.51	70	67	72	70
3e »	63.03	62.92	63.47	63.14	72	66	65	68
Mois	65.72	65.85	66.33	65.97	77	74	77	76

Température.

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne. $\frac{7+1+9}{3}$	Moyenne. $\frac{7+1+2\times 9}{4}$
	°	°	°	°	°
1re décade	— 2.81	— 0.83	— 1.99	— 1.88	— 1.90
2e »	+ 1.26	+ 3.70	+ 1.82	+ 2.26	+ 2.15
3e »	— 4.25	— 0.64	— 2.70	— 2.53	— 2.57
Mois	— 2.01	+ 0.70	— 1.01	— 0.77	— 0.85

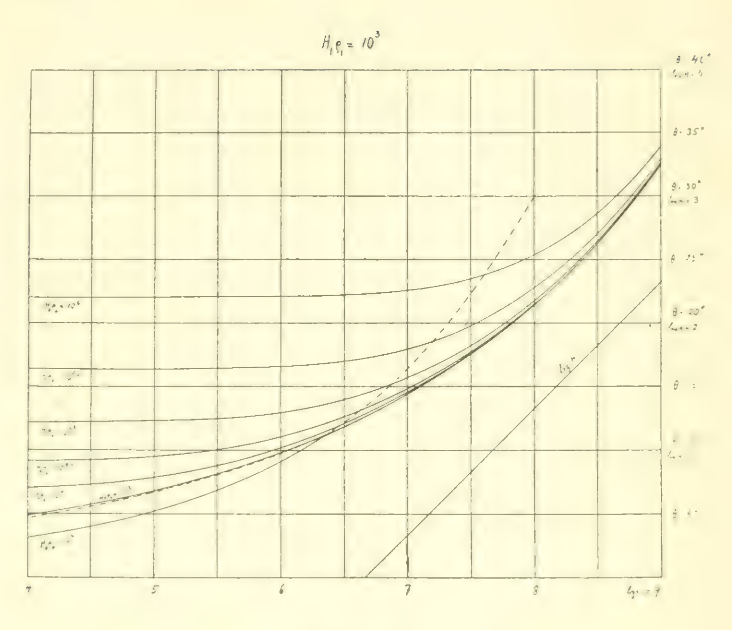
Dans ce mois l'air a été calme 0 fois sur 1000.

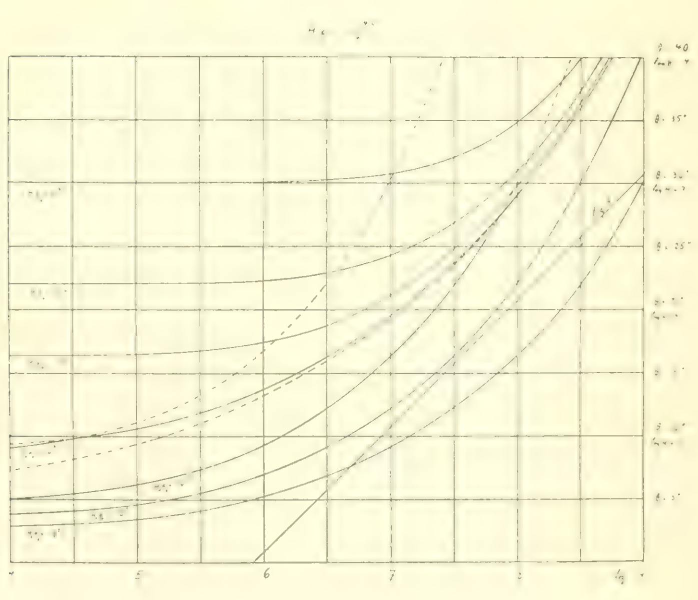
Le rapport des vents $\frac{NE}{SW} = \frac{44}{152} = 0.29$

Pluie et neige dans le Val d'Entremont.

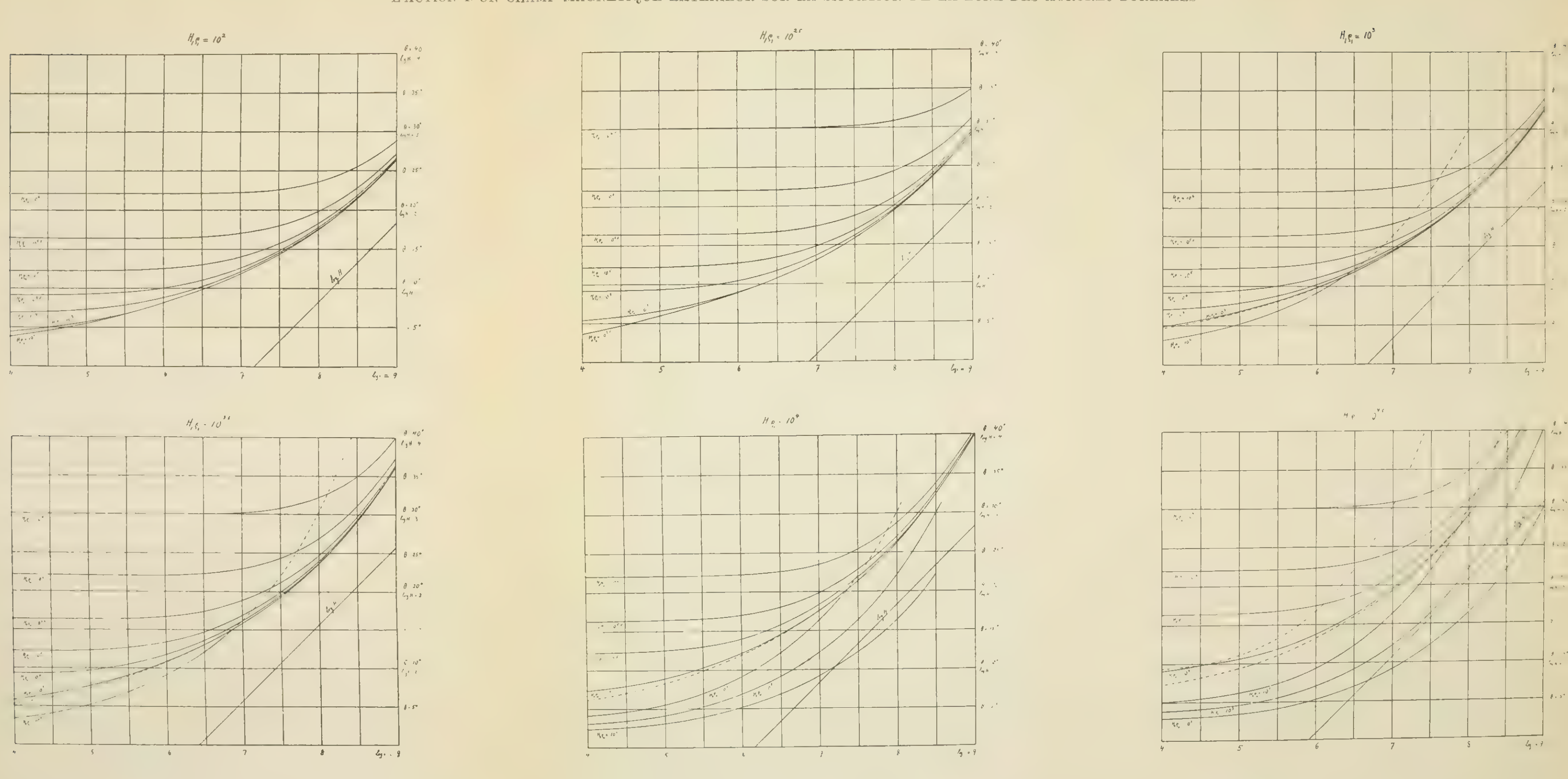
Station	Martigny-Ville	Orsières	Bourg-St-Pierre	St-Bernard
Eau en millimètres.....	56.3	49.7	57.3	141.4
Neige en centimètres...	—	—	7	90

RORES BORÉALES



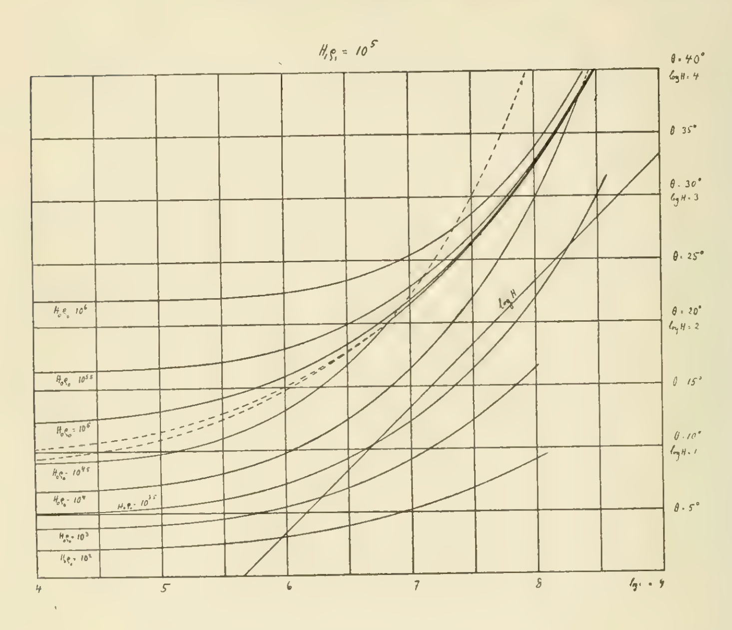


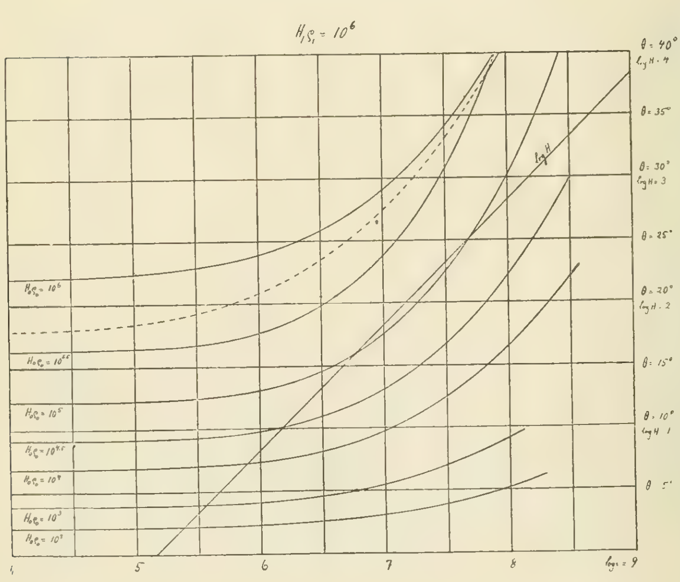
L'ACTION D'UN CHAMP MAGNÉTIQUE EXTÉRIEUR SUR LA SITUATION DE LA ZONE DES AURORES BORÉALES



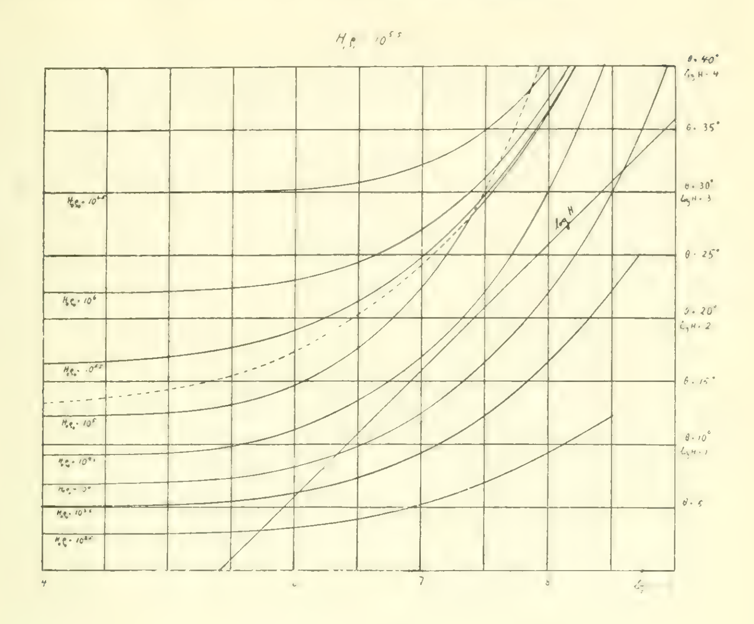
Archives des Sciences phys. et nat., Tome XXXII, Novembre 1911.

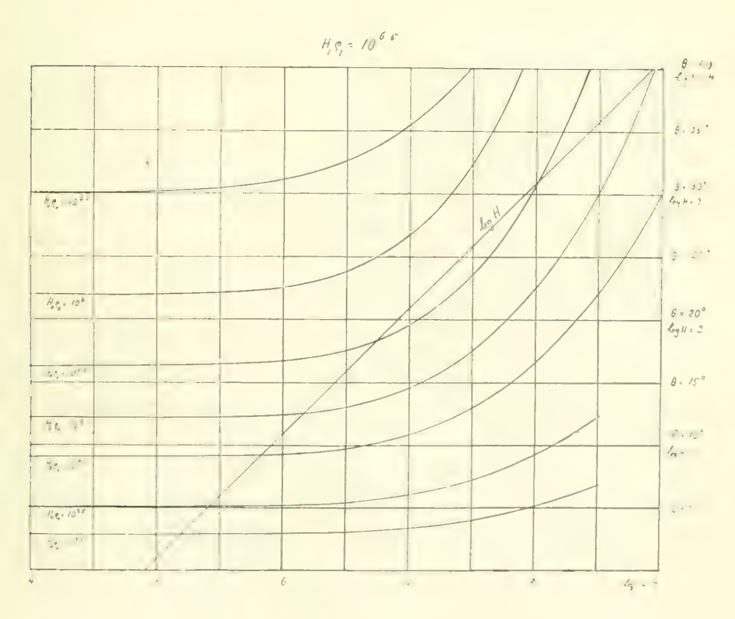
L'ACTION D'UN CHAMP MAGNÉTIQUE EXTÉRIEUR SUR





A SITUATION DE LA ZONE DES AURORES BORÉALES





SUR

LES COMPOSÉS OPTIQUEMENT ACTIFS
DU COBALT ET DU CHROME

PAR

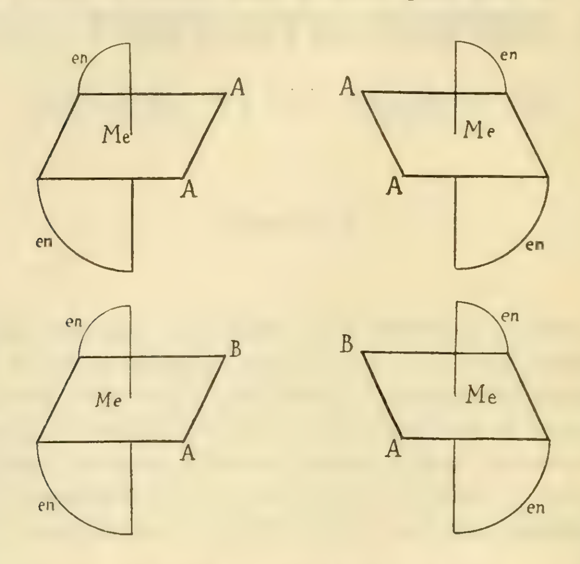
A. WERNER

La théorie de coordination admet que dans les radicaux complexes : $[Me, A_6]$ des composés inorganiques, les six groupes A unis directement à l'atome métallique central sont groupés autour de cet atome dans la position relative des sommets d'un octaèdre. Cette hypothèse conduit à certaines conséquences quant à l'existence d'isomères à image non superposable, conséquences que nous avons cherché à vérifier par l'expérience.

Nous ne considérerons ici que celles de ces conséquences qui se rapportent aux composés dont les radicaux complexes se composent d'un atome de métal, de deux molécules d'éthylène-diamine et de deux groupes A et B ou de deux groupes A, et qui répondent par conséquent aux formules : $\left[{A \atop B} Me\, en_2\right]$ et $[A_2\, Me\, en_2]$. Lorsque les deux groupes A et B ou les deux groupes A de ces radicaux complexes occupent deux places voisines dans le groupement octaèdrique, les formules dans l'espace de ces radicaux ne sont pas superposables à leurs images, comme on le voit par les figures ci-après.

Les composés contenant des radicaux complexes de la forme : $\left[{A \atop B} Me\, en_2\right]$ ou $[A_2\, Me\, en_2]$, devraient donc exister en isomères dissymétriques. Les deux types de radicaux complexes envisagés diffèrent l'un de l'autre, car l'arrangement dans l'espace des groupes du premier type contient deux tétraèdres avec

quatre groupes différents : Co, A, B et *en* dans les sommets et non superposables parce que les deux molécules d'éthylènediamine ont une orientation différente dans les deux tétraèdres. (L'une se trouve dans le même plan avec A, l'autre



dans le même plan avec B). Cela n'est plus le cas pour les radicaux complexes : $[A_2 \text{ Co en}_2]$, qui ne contiennent pas d'atome métallique asymétrique, et pour lesquels on se trouve donc en présence de dissymétrie moléculaire, c'est-à-dire en présence d'une sorte d'énantiomorphisme moléculaire. Ces conséquences théoriques déduites des formules octaèdriques ont pu être vérifiées expérimentalement en soumettant à des essais de dédoublement certains composés répondant aux formules en question. Les résultats expérimentaux ont pleinement confirmé les conséquences théoriques. Les essais de dédoublement ont été faits avec des composés de cobalt, et jusqu'à présent nous avons réussi à préparer les isomères dissymétriques de quatorze séries différentes de composés cobaltiques, savoir :

I. Composés avec radicaux complexes $\left[\begin{smallmatrix}A\\B\end{smallmatrix} \text{ Co en}_2\right]$.

1) $\left[\begin{smallmatrix}Cl\\H_3N\end{smallmatrix} \text{ Co en}_2\right] X_2$; 2) $\left[\begin{smallmatrix}Br\\H_3N\end{smallmatrix} \text{ Co en}_2\right] X_2$; 3) $\left[\begin{smallmatrix}Cl\\O_2N\end{smallmatrix} \text{ Co en}_2\right] X$;

4) $\left[\begin{matrix}SCN\\Cl\end{matrix} Co\ en_2\right]X$; 5) $\left[\begin{matrix}O_2N\\SCN\end{matrix} Co\ en_2\right]X$; 6) $\left[\begin{matrix}H_2O\\H_3N\end{matrix} Co\ en_2\right]X_3$;

7) $\left[\begin{matrix}H_2O\\O_2N\end{matrix} Co\ en_2\right]X_2$; 8) $\left[\begin{matrix}H_2O\\SCN\end{matrix} Co\ en_2\right]X_2$; 9) $\left[en_2\ Co : \begin{matrix}O_2\\NH_2\end{matrix} : Co\ en_2\right]X_4$;

10 $\left[en_2\ Co : \begin{matrix}OH\\NH_2\end{matrix} : Co\ en_2\right]X_4$.

II. Composés avec radicaux complexes : $[A_2\ Co\ en_2]$.

1) $\left[\begin{matrix}O_2N\\O_2N\end{matrix} Co\ en_2\right]X$; 2) $\left[\begin{matrix}Cl\\Cl\end{matrix} Co\ en_2\right]X$; 3) $\left[OC<\begin{matrix}O\\O\end{matrix} : Co\ en_2\right]X$;

$\left[\begin{matrix}H_3N\\H_3N\end{matrix} Co\ en_2\right]X_3$

Mentionnons avant tout le fait, que tous les isomères dissymétriques se distinguent par leurs pouvoirs rotatoires qui sont égaux en valeur absolue, mais de signes contraires.

Les méthodes de dédoublement employées jusqu'à présent consistent à préparer pour les séries à dédoubler des sels avec des acides organiques actifs. Nous avons employé avec succès les acides α-bromocamphosulfoniques et l'acide camphosulfonique de Reychler. Les acides α-bromocamphosulfoniques ont fourni les meilleurs résultats, car avec l'acide camphosulfonique de Reychler le dédoublement n'a réussi que dans deux séries, alors que huit séries ont pu être dédoublées avec les acides α-bromocamphosulfoniques. Cependant, même avec les acides α-bromocamphosulfoniques, le dédoublement n'est pas toujours certain, car différentes séries forment des racémates partiels qui empêchent le dédoublement. Cela est le cas, par exemple, pour les séries :

$$\left[\begin{matrix}H_3N\\H_3N\end{matrix} Co\ en_2\right]X_3 \quad \text{et} \quad \left[OC \begin{matrix}O\\O\end{matrix} : Co\ en_2\right]X,$$

et d'autres. Mais quelques-unes de ces séries ont pu être obtenues à l'état actif en partant d'autres composés actifs obtenus par dédoublement. Pour ce qui concerne la méthode générale de dédoublement à l'aide des α-bromocamphosulfonates et des camphosulfonates, il est à remarquer que les bromocamphosulfonates et les camphosulfonates se préparent en faisant réagir les sels halogéniques des séries à dédoubler avec le *d*-α-bromocamphosulfonate et le camphosulfonate d'argent. Par cristallisation fractionnée du produit de la réaction on obtient le dédou-

blement des sels des séries à pouvoirs rotatoires contraires. Cette méthode permet d'obtenir facilement à l'état chimiquement pur les séries actives, dont les sels *d*-bromocamphosulfoniques ou camphosulfoniques sont peu solubles, mais très souvent la préparation des séries à pouvoirs rotatoires inverses cause des difficultés, parce que les *d*-bromocamphosulfonates et les camphosulfonates de ces séries sont très solubles et ne peuvent pas être obtenus à l'état cristallisé. Pour éviter ces difficultés nous avons dans quelques cas retransformé les sels solubles et difficiles à purifier en sels halogéniques et, en partant de ceux-ci, nous avons préparé les *l*-α-bromocamphosulfonates peu solubles. De cette manière nous avons pu isoler les deux isomères optiques à l'état de pureté. L'acide *l*-α-bromocamphosulfonique, qui n'est pas facilement accessible, peut être remplacé, dans certains cas, par l'acide *d*-comphosulfonique, car nous avons trouvé que la solubilité des camphosulfonates est souvent inverse à celle des α-bromocamphosulfonates. En effet, lorsque le *d*-bromocamphosulfonate de la forme *d* d'une série de composés cobaltiques est peu soluble, le *d*-camphosulfonate correspondant est très soluble, et l'inverse a lieu pour les *l*-bromocamphosulfonates et *l*-camphosulfonates. On peut donc, en préparant en premier lieu le *d*-bromocamphosulfonate peu soluble, obtenir la forme *d*, puis, en transformant le sel des eaux-mères en camphosulfonate peu soluble, la forme *l*. Il est évident que l'on peut aussi opérer en sens inverse, c'est-à-dire, isoler en premier lieu le camphosulfonate, et ensuite transformer le sel des eaux-mères en bromocamphosulfonate.

La méthode de dédoublement décrite a rendu de bons services pour le dédoublement de différentes séries de cobaltamines. Mais comme il s'agit de cristallisations fractionnées en solutions aqueuses, elle ne réussit que quand les composés à dédoubler sont stables en solution aqueuse. Elle n'est donc plus ou que très difficilement applicable au dédoublement des composés dont les radicaux complexes contiennent des groupes qui sous l'action de l'eau se séparent à l'état de ions. Cela est le cas, par exemple, pour la série 1.2-chloro-nitro-diéthylènediaminecobaltique, dont le dédoublement n'a pu être effectué sans

grandes pertes du sel employé. Pour tourner ces difficultés nous avons élaboré une nouvelle méthode de dédoublement qui se base sur la très grande différence qui existe souvent entre les solubilités des *d*-bromocamphosulfonates des isomères optiques. Cette nouvelle méthode évite l'emploi de sels d'argents qui, quand les radicaux complexes des cobaltamines contiennent un halogène, peuvent donner lieu à des réactions secondaires et évite de plus un séjour prolongé des sels dans la solution aqueuse, ce qui est fort important pour les cas où ces sels sont facilement altérés par l'eau. La nouvelle méthode repose sur une simple réaction de précipitation. En effet, si l'on ajoute du *d*-bromocamphosulfonate d'ammonium à une solution concentrée du sel racémique cobaltique à dédoubler il se forme, quand une des modifications actives du sel racémique donne un *d*-bromocamphosulfonate peu soluble, un précipité de ce sel qui, dans certains cas est directement chimiquement pur, dans d'autres cas, contient un peu de racémate partiel. Dans ce dernier cas, le sel précipité est retransformé en un sel soluble, que l'on reprécipite de sa solution aqueuse avec du *d*-bromocamphosulfonate d'ammonium. En ajoutant du *l*-bromocamphosulfonate d'ammonium aux eaux-mères de la précipitation du *d*-bromocamphosulfonate on peut isoler l'isomère optique qui est précipité à l'état de *l*-bromocamphosulfonate peu soluble. La méthode de dédoublement que nous venons de décrire nous a permis de dédoubler des séries de cobaltamines dont les sels sont très peu stables en solution aqueuse, par exemple la série 1.2 dichlorodiéthylènediaminecobaltique. Les meilleurs résultats ont été obtenus dans la série 1.2-chloro-sulfocyano-diéthylènediaminecobaltique parce que le *d*-bromocamphosulfonate *l*-chloro-isosulfocyano-diéthylènediaminecobaltique et le *l*-bromocamphosulfonate *d*-chloro-isosulfocyano-diéthlènediaminecobaltique sont presque insolubles dans l'eau.

Nous ne nous occuperons pas ici des méthodes qui ont servi à transformer les camphosulfonates et les bromocamphosulfonates actifs dans d'autres sels actifs, car ces méthodes diffèrent d'une série à l'autre et ne présentent pas d'intérêt général.

Passons aux propriétés des isomères optiques et considérons d'abord leur pouvoir rotatoire.

Pour les cobaltamines ne contenant qu'un seul atome de cobalt, la valeur maximum du pouvoir rotatoire absolu a été observée dans la série dichlorodiéthylènediaminecobaltique : $[Cl_2Co\ en_2]Cl$, qui présente un pouvoir rotatoire spécifique d'environ 200°. Dans la série nitro-sulfocyano-diéthylènediaminecobaltique le pouvoir rotatoire spécifique atteint 86° et dans la série chloro-sulfocyanocobaltique 65°. Dans plusieurs séries la valeur moyenne du pouvoir rotatoire est de 40 à 50° et dans la série chloro-nitro-diéthylènediaminecobaltique le pouvoir rotatoire spécifique n'atteint qu'environ 25°. Des pouvoirs rotatoires d'une grandeur tout à fait anormale ont été observés pour les sels d'une série de cobaltimes à deux atomes de cobalt. C'est la série tétraéthylènediamine-*u*-amino-peroxo-dicobaltique, dont le nitrate possède un pouvoir rotatoire spécifique de 840° et auquel répond un pouvoir rotatoire moléculaire d'environ 6000°. Pour examiner quelle influence les divers groupes constituants les radicaux complexes exercent sur le pouvoir rotatoire des combinaisons envisagées, il a fallu avant tout résoudre la question, si les radicaux complexes des séries à pouvoir rotatoire de même signe ont des formules de configurations conformes ou non. Dans le second cas, la nature des groupes A et B aurait une influence non seulement sur la valeur absolue du pouvoir rotatoire, mais également sur le signe de l'activité optique. En étudiant la question énoncée, il s'agissait de déterminer de même si toutes les séries à *d*-bromocamphosulfonates ou camphosulfonates peu solubles sont de configurations conformes ou pas. Les séries suivantes donnent des *d*-bromocamphosulfonates peu solubles.

1) Série *d*-chloro-amine-diéthylènediamine-cobaltique ;
2) » *d*-bromo-amine-diéthylènediamine-cobaltique ;
3) » *d*-chloro-nitro-diéthylènediamine-cobaltique ;
4) » *d*-dinitro-diéthylènediamine-cobaltique ;
5) » *l*-dichloro-diéthylènediamine-cobaltique ;
6) » *l*-chloro-isosulfocyano-diéthylènediamine cobaltique ;
7) » *l*-tetraéthylènediamine-μ-amino-peroxo-dicobaltique.

Un premier fait qui prouve que le signe du pouvoir rotatoire n'est pas lié à une configuration déterminée du radical diéthylènediamine-cobaltique : $en_2\ Co$, a été observé lors de la réduc-

tion de la série tetraéthylènediamine-*u*-amino-peroxo-dicobaltique lévogyre, qui fournit la série tetraéthylènediamine-*u*-amino-ol-dicobaltique dextrogyre :

$$\left[en_2 \overset{IV}{Co} \begin{matrix} \cdot & NH_2 & \cdot \\ \cdot & O_2 & \cdot \end{matrix} \overset{III}{Co}\, en_2 \right] X_4 \longrightarrow \left[en_2 Co \begin{matrix} \cdot & NH_2 & \cdot \\ \cdot & OH & \cdot \end{matrix} Co\, en_2 \right] X_4$$

Comme un changement de configuration ne peut pas intervenir dans cette réaction, il en résulte que les pouvoirs rotatoires des composés présentant des configurations conformes peuvent être de signes contraires. Une preuve encore plus décisive a pu être fournie de la façon suivante. En faisant réagir du sulfocyanate de potassium sur un sel de la série *d*-chloro-nitro-diéthylènediamine-cobaltique, série qui donne un *d*-bromocamphosulfonate peu soluble on obtient la série *d*-nitro-sulfocyano-diéthylènediaminecobaltique, et en faisant réagir du nitrite de sodium sur la série *l*-chloro-isosulfocyano-diéthylènediaminecobaltique, qui est également caractérisée par un *d*-bromocamphosulfonate peu soluble, il résulte la même série *d*-nitro-isosulfocyano-diéthylènediaminecobaltique.

L'aperçu suivant résume ces résultats expérimentaux.

Séries donnant des b-bromo-camphosulfonates peu solubles			
	Série *l*-chloro-isosulfocyano-diéthylènediaminecobaltique	$NaNO_2$ ⟶	Série *d*-nitro-isosulfocyano-diéthylènediamine-cobaltique
	Série *d*-chloronitro-diéthylènediaminecobaltique	$KSCN$ ⟶	

Il s'ensuit que l'acide *d*-bromocamphosulfonique précipite toujours comme sels peu solubles les séries dissymétriques de configurations conformes et que ces séries peuvent présenter des pouvoirs rotatoires de signes contraires et que les valeurs absolues et les signes des pouvoirs rotatoires relèvent de la nature des groupes qui à côté des deux molécules d'éthylènediamine font partie des radicaux complexes. Il n'est donc pas possible de déterminer la formule de configuration d'une série de composés en se basant sur le signe du pouvoir rotatoire. L'aperçu suivant réunit des séries conformes au point de vue

de la configuration en indiquant les valeurs et le sens des pouvoirs rotatoires spécifiques

$\left[en_2 \overset{IV}{Co} \vdots \begin{matrix} O_2 \\ NH_2 \end{matrix} \vdots \overset{III}{Co}\, en_2 \right] X_4$; $[Cl_2\, Co\, en_2]\, X$; $\left[\begin{matrix} Cl \\ SCN \end{matrix} Co\, en_2 \right] X$;

−840° −200° −65°

$\left[\begin{matrix} Cl \\ O_2N \end{matrix} Co\, en_2 \right] X$; $\left[\begin{matrix} H_3N \\ H_3N \end{matrix} Co\, en_2 \right] X_3$; $\left[\begin{matrix} Br \\ H_2N \end{matrix} Co\, en_2 \right] X_2$;

+25° +38° +50°

$\left[\begin{matrix} O_2N \\ H_2O \end{matrix} Co\, en_2 \right] X_2$; $\left[\begin{matrix} O_2N \\ SCN \end{matrix} Co\, en_2 \right] X$; $\left[en_2\, Co \vdots \begin{matrix} OH \\ NH_2 \end{matrix} \vdots Co\, en_2 \right] X_4$.

+52° +86° +110°

Il n'est pas improbable qu'en augmentant les données expérimentales, on arrivera pour les différents groupes à des valeurs numériques caractérisant l'action que ces groupes exercent sur la grandeur et le signe du pouvoir rotatoire des composés.

La stabilité des composés cobaltiques doués du pouvoir rotatoire varie dans de larges limites. Quelques-uns de ces composés sont absolument stables, comme par exemple les sels dinitrodiéthylènediaminecobaltiques, dont le pouvoir rotatoire n'a pas changé, même après un séjour en solution aqueuse de plusieurs mois.

Pour d'autres combinaisons cobaltiques actives, le pouvoir rotatoire subit en solution aqueuse un changement très rapide. Cela est le cas pour certaines séries qui contiennent du chlore dans leurs radicaux complexes, parce que ces séries se transforment facilement en sels d'aquocobaltamines.

En considérant le sens du changement du pouvoir rotatoire on constate que dans certains cas il y a augmentation, dans d'autres, diminution du pouvoir rotatoire, c'est-à-dire que nous observons la même chose que pour les corps organiques présentant le phénomène de mutarotation. Dans plusieurs séries de composés cobaltiques la diminution du pouvoir rotatoire va jusqu'à l'inactivité, et nous avons donc le phénomène de l'autoracémisation en solution aqueuse. Pour les sels de la série dichloro-diéthylènediaminecobaltique ce phénomène d'autoracémisation est très fortement accentué, car l'activité du sel dimi-

nue de moitié quand le sel séjourne pendant une heure en solution aqueuse et après trois heures elle a complètement disparu.

La manière dont se comportent les sels chloro-nitro-diéthylènediaminecobaltiques, quand ils sont dissous dans l'eau, est particulièrement intéressante. Le pouvoir rotatoire initial de 25° croît d'abord jusqu'au double de sa valeur environ, soit jusqu'à 52°, mais après un certain temps il diminue de nouveau et finalement disparaît complètement.

La solution à pouvoir rotatoire de 52° contient la série nitro-aquo-diéthylènediaminecobaltique

$$\left[{O_2N \atop H_2O} Co\ en_2\right] X_2,$$

qu'on peut isoler à l'état de periodure très peu soluble dans l'eau. Les solutions des sels chloro-nitro-diéthylènediaminecobaltiques présentent donc d'abord le phénomène de la mutarotation et ce phénomène est suivi de celui de l'auracémisation. Nous n'avons pas encore pu déterminer, si l'autoracémisation est seulement due à la production de composés racémiques ou bien si elle est accompagnée de la transformation des composés en question en isomères géométriques non dédoublables.

Passons aux réactions des composés cobaltiques doués du pouvoir rotatoire. Parmi les réactions des composés optiquement actifs du cobalt, celles qui s'accomplissent avec substitution de certains groupes constituants du radical complexe par d'autres, présentent un intérêt spécial. Pour certaines séries ces réactions s'effectuent sans perte du pouvoir rotatoire. Cela arrive pour les sels chloro-nitro-diéthylènediaminecobaltiques, qui réagissent avec le nitrite de sodium et le sulfocyanure de potassium en donnant les sels dinitro-diéthylènediaminecobaltiques et nitro-isosulfocyano-diéthylènediaminecobaltiques optiquement actifs. Pour d'autres séries, on constate que ces réactions sont accompagnées d'une racémisation partielle. C'est ainsi le cas quand on fait réagir le nitrite de sodium avec les sels chloro-nitro-diéthylènediaminecobaltiques ; on obtient un mélange de la modification optiquemment active et du composé racémique. La même chose a lieu lors de la réaction du carbo-

nate de sodium avec les sels dichloro-diéthylènediaminecobaltiques ; il se forme un mélange de la série carbonato-diéthylènediaminecobaltique active et de la série racémique. Dans d'autres cas enfin, la racémisation est complète. Ainsi l'on constate en ajoutant à une solution de sel carbonato-diéthylènediaminecobaltique optiquemment actif un peu d'acide azotique, qui transforme le sel carbonato-diéthylènediaminecobaltique en sel diaquo-diéthylènediaminecobaltique, que l'activité optique disparaît instantanément. De même il se forme un produit inactif quand on transforme par l'action de l'acide chlorhydrique en solution alcoolique un sel carbonato-diéthylènediaminecobaltique en sel 1.2-dichloro-diéthylènediaminecobaltique. Les recherches ultérieures auront à s'occuper des causes qui déterminent ces différences frappantes que l'on observe pour les réactions des différentes séries actives.

Pour terminer, mentionnons encore une propriété intéressante des sels cobaltiques actifs. Certains de ces composés présentent une dispersion rotatoire très considérable. Cela est par exemple le cas pour les sels dinitro-diéthylènediaminecobaltiques, dont le pouvoir rotatoire spécifique pour la raie C de Frauenhofer est 0°, tandis que pour la raie D il atteint une valeur d'environ 50°. Ce phénomène fera également l'objet d'une étude détaillée.

Nous avons dans ce qui précède exposé à grands traits les résultats de nos recherches sur les composés cobaltiques doués du pouvoir rotatoire. Ajoutons encore que nous avons également cherché à préparer des combinaisons actives dérivant d'autres éléments métalliques, pour pouvoir fixer le rôle que l'atome métallique central joue dans la genèse du pouvoir rotatoire des composés à configuration dissymétrique. Nous nous sommes adressés en premier lieu aux composés du chrome, que P. Pfeiffer et ses élèves ont si bien étudiés au point de vue de leurs formules de constitution et de configuration. Après de nombreuses tentatives infructueuses nous avons finalement réussi à dédoubler les sels 1.2-dichloro-diéthylènediaminechromiques : $[Cl_2Cr_2 en]X$, dont la constitution et la configuration correspondent à celles des sels 1.2-dichloro-diéthylènediaminecobaltiques. Le dédoublement de la série dichloro-

chromique a présenté de sérieuses difficultés, vu la grande instabilité qui caractérise ces sels en solution aqueuse, l'eau les transformant très rapidement en sels chloro-aquo-diéthylène-diaminechromiques. Cependant nous avons pu préparer à l'aide du *d*-bromocamphosulfonate d'ammonium le *d*-bromocamphosulfonate *l*-dichloro-diéthylènediaminechromique et à l'aide du *l*-bromocamphosulfonate d'ammonium le *l*-bromocamphosulfonate *d*-dichloro-diéthylènediaminechromique, et en partant de ces bromocamphosulfonates nous avons obtenu différents sels des deux séries chromiques à pouvoir rotatoire contraire, entre autres les chlorures, bromures et les nitrates. Par rapport à l'activité optique, il est à remarquer que le pouvoir rotatoire spécifique des composés chromiques est toujours de 40° environ inférieur à celui des composés cobaltiques, d'où résulte pour le pouvoir moléculaire une différence d'environ 150°. Par ce fait, il est établi que la nature de l'atome central du système moléculaire dissymétrique prend une part active à l'apparition du pouvoir rotatoire. La question de savoir si la différence entre des pouvoirs rotatoires des composés cobaltiques et chromiques de constitutions conformes est toujours constante ou si elle varie selon les séries, fera l'objet de recherches ultérieures.

En résumant les résultats des recherches exposées nous arrivons aux conclusions suivantes : Nos expériences ont prouvé que les composés des deux éléments métalliques, cobalt et chrome, peuvent être dédoublés en isomères à images non superposables doués de pouvoirs rotatoires inverses. Il s'ensuit que les atomes d'éléments métalliques peuvent agir comme centres de molécules dissymétriques, ainsi que cela a déjà été prouvé pour les atomes d'éléments métalloïdes. Il semble donc probable que cette propriété revient à tous les atomes élémentaires.

SUR LA PULVÉRISATION DES MÉTAUX

PAR LA

DÉCHARGE OSCILLANTE

PAR

J. de KOWALSKI et E. BANASINSKI

Il y a quelque temps, un de nous avait montré que les électrodes métalliques, employées pour produire la décharge oscillante d'un condensateur, sont pulvérisées, et cela assez fortement pour qu'on puisse peser la quantité du métal pulvérisé[1].

Les conditions électriques du circuit oscillant ne changeant pas, les résultats des mesures des quantités du métal pulvérisé sont très constants et ne diffèrent entre eux que de 1 % à 2 % au maximum.

On peut ranger les métaux d'après la grandeur de pulvérisation comme suit : or, platine, zinc, fer, cuivre, argent, aluminium.

Dans le travail suivant, nous avons entrepris l'étude de l'influence des conditions électriques du circuit oscillant sur ce phénomène.

Une batterie de condensateurs (système Moscicki, modèle pour la télégraphie sans fil), d'une capacité de 0,105 microfarad, fut reliée par de gros fils à un déchargeur à distance explosive variable, et dans lequel on pouvait varier le métal des électrodes. Pour charger la batterie, on employait une bobine d'induction de Klingelfuess de 80 cm. d'étincelle. On a relié directement un des pôles de la bobine à une des électrodes du déchargeur. Un déchargeur, composé d'une pointe et d'un

[1] *Arch. des Sc. phys. et nat.*, IV, 1910, t. XXX, p. 294.

plateau, était intercalé entre l'autre pôle et la deuxième électrode du déchargeur principal et servait ainsi de redresseur. On réglait la distance explosive du redresseur de façon à ce que les décharges du condensateur ne se produisissent pas plus souvent que toutes les trois secondes. On évitait ainsi un trop grand échauffement des électrodes du déchargeur principal.

La première série d'expériences portait sur l'influence de la distance explosive. Les résultats moyens obtenus d'un grand nombre des expériences sont les suivants :

1. — *Electrodes en or, sphères 1 cm. de diamètre*

Distance explosive en centimètres	Pulvérisation d'une électrode après 1000 décharges en grammes
1,6	$6{,}10^{-3}$
1,4	$5{,}5.10^{-3}$
1,2	$5{,}1.10^{-3}$
1,0	$3{,}5.10^{-3}$
0,8	$2{,}4.10^{-3}$
0,6	$1{,}9.10^{-3}$

2. — *Electrodes en or, cylindre 0,5 cm. de diamètre*

1,4	$5{,}3.10^{-3}$
1,0	$4{,}4.10^{-3}$

3. — *Electrodes en platine, cylindre 0,5 cm. de diamètre*

1,4	$2{,}6.10^{-3}$
1,0	$2{,}2.10^{-3}$

De ce tableau nous déduisons que la pulvérisation croît avec la distance explosive. Comme le rapport or-platine est pour une distance explosive de 1,4 cm. égal à 2.04, et pour une distance de 1 cm. égal à 2,00, nous pouvons dire que la nature du métal influe peu sur la loi de cet accroissement.

Une autre série d'expériences portait sur l'influence de la capacité. Les résultats sont contenus dans le tableau suivant.

Batterie	I	II	Rapport de I-II
Capacité	0,027 micrf.	0,018 micrf.	1,5
Distance explosive	Pulvérisation I	Pulvérisation II	Rapport I-II
1,8	$0{,}670.10^{-3}$	$1{,}050.10^{-3}$	1,64
1,6	$0{,}600.10^{-3}$	$0{,}975.10^{-3}$	1,62
1,4	$0{,}550.10^{-3}$	$0{,}875.10^{-3}$	1,61
1,2	$0{,}520.10^{-3}$	$0{,}825.10^{-3}$	1,57
1,0	$0{,}450.10^{-3}$	$0{,}635.10^{-3}$	1,41
0,8	$0{,}380.10^{-3}$	$0{,}525.10^{-3}$	1,38

Ces expériences démontrent que la pulvérisation diminue avec la capacité, et cela plus dans le cas des grandes distances explosives que dans celui des petites. Ce fait, qui nous paraît intéressant, pourrait peut-être s'expliquer si nous admettons que la pulvérisation diminue avec l'augmention de l'amortissement des oscillations. D'après les expériences de Rempp, l'amortissement des oscillations croît avec la distance explosive, si cette distance dépasse 0,6 cm. Cette augmentation de l'amortissement est plus grande pour des petites capacités que pour des grandes. Si donc l'augmentation de l'amortissement fait diminuer la pulvérisation, le phénomène de la pulvérisation suit une marche qui correspond à nos résultats.

Fribourg, novembre 1911.

LA FATA-MORGANA

PAR

F.-A. FOREL

Il est parmi les phénomènes optiques qui se jouent à la surface des eaux une apparition mystérieuse, parce qu'elle a été mal définie, mal observée ; elle est jusqu'à présent sans explication valable. Les physiciens italiens l'appellent la *Fata-morgana.* Dans certaines circonstances qu'ils n'ont pas suffisamment su préciser, ils voient sur l'autre rive du détroit de Messine des images fantastiques, les bâtiments et les châteaux de villes inconnues qui semblent sortir de la mer pour disparaître bientôt : les palais de la fée Morgane que la baguette de la magicienne ferait surgir et s'évanouir selon ses caprices.

La plupart des dissertations qui traitent de ce phénomène sont basés sur la description compliquée et la planche tumultueuse qu'a publiée en 1773 le dominicain Dom Antonio Minasi, professeur de botanique au gymnase romain de la Sapienza. Cette planche, avec ses entassements incohérents de châteaux et de bateaux, réfléchis à tort et à travers, dans toutes les impossibilités physiques, a été suggérée à l'imagination désorientée d'un dessinateur qui n'y a rien compris.

Si l'on veut apprécier l'état de confusion qui règne dans la science au sujet de ce phénomène, que l'on cherche dans l'admirable Meteorologische Optik de Pernter [1] le chapitre de la fata-morgana et l'on jugera à quelles incertitudes l'a conduit l'étude des documents insuffisants et contradictoires qu'il a pu rassembler.

Un physicien de Reggio, le professeur Dr V.-E. Boccara a

[1] Wien 1910, p. 136.

essayé de mettre un peu d'ordre dans cette question[1]. Y a-t-il réussi ? la critique de ses planches et dessins amènerait probablement à une réponse au moins douteuse.

En 1854, Charles Dufour a rendu un service signalé[2] ; il a reconnu sur le Léman l'apparition de la fata-morgana et en a donné une bonne description, débarrassée des exagérations et des complications de ses prédécesseurs, et un essai d'explication. Il a fait voir à son élève d'alors, un petit écolier de treize ans, les images que celui-ci a revues, à réitérées fois, chaque printemps. Dans les cinquante et tant d'années que j'ai suivi les leçons de mon cher maître, j'ai vu quatre ou cinq cents fois la fata-morgana ; j'en puis donc parler en connaissance de cause.

J'ai cherché à en préciser les conditions d'apparition dans mon Léman, II 544[3], et dans ma note de 1896[4]. J'ai fait depuis lors un pas de plus en avant dans la constatation des faits, et j'essaierai de donner aujourd'hui les traits principaux de l'apparition ; cela servira peut-être de base meilleure a une étude mathématique du phénomène que je sollicite des physiciens, mes amis[5].

Ce que nous appelons la fata-morgana apparaît dans des conditions spéciales, toujours les mêmes. Dans les belles journées du printemps, sur un lac calme ou caressé par les souffles légers de ce que nous ne nommerions pas même une brise, on voit

[1] Vittorio-E. Boccara. La Fata-morgana. *Mem. della Societa degli spettroscopisti Italiani*, XXXI. Catania 1902. — Ce mémoire renferme une abondante bibliographie de la question et des extraits des principales observations.

[2] Ch. Dufour. Mirages et réfractions anormales sur le lac Léman. *Bull. soc. Vaud. Sc. nat.* XXXII, 129. Lausanne 1853-1856.

[3] F.-A. Forel. *Le Léman.* Lausanne 1895.

[4] F.-A. Forel. Réfractions et mirages ; passage d'un type à l'autre. *Bull. Soc. Vaud. Sc. nat.* XXXII, 271. Lausanne 1898.

[5] Les faits de réfraction ne sont pas toujours aussi clairs et aussi simples qu'on pourrait le désirer. Si parfois il n'y a pas de doute sur la nature des images, la vision est souvent malaisée à interpréter. Les phénomènes se passent à longue distance et dans un air plus ou moins saturé de vapeur d'eau ; les images sont fréquemment masquées par un voile de brume. Je dois reconnaître que l'observation est entourée de difficultés et d'obstacles fort gênants ; s'il n'en était pas ainsi je

parfois, dans les heures de l'après-midi, quand la température de l'air dépasse celle de l'eau, sur un point quelconque du lac, le tableau de la côte opposée présenter une image irréelle. Sur une largeur de vingt ou trente degrés, la rive, distante de dix à vingt ou trente kilomètres, dont les détails nous sont bien connus, est transformée dans son aspect ; elle est barrée par une bande horizontale, la *zone striée,* immédiatement superposée à l'horizon d'eau qui la limite par le bas, bordée en haut par une ligne parallèle, à quelques minutes de degré de hauteur, zone formée de rectangles juxtaposés, de teintes et d'éclairage variés. On dirait d'une falaise gigantesque, quelque chose comme la côte de Douvre qui apparaît aux yeux du voyageur traversant le canal de la Manche en s'approchant de l'Angleterre; on dirait d'une ville immense, riveraine du lac, avec les massifs de ses maisons rangées le long des quais, une Gênes, une Naples, un Constantinople, surgissant inopinément sur une côte que nous savons être à peine habitée par quelques maisonnettes dispersées. Ce sont les palais que la fée Morgane offre à notre admiration.

Le lieu de l'apparition est variable d'un cas à l'autre; tantôt c'est ici, tantôt c'est là qu'on la voit. L'apparition est mobile ; elle se déplace plus ou moins lentement et s'avance dans un sens ou dans l'autre ; elle ne reste dans le même point que quelques dix ou vingt minutes ; la côte reprend alors son aspect habituel, tandis que la zone striée de la fata-morgana a envahi un autre segment de tableau.

Le phénomène, dans son ensemble, ne dure pas longtemps, une heure à peine dans son parcours de tout le demi-cercle de

n'aurais pas mis plus de cinquante ans pour arriver à un essai d'explication. J'ajouterai que l'observation des réfractions qui se jouent à la surface des eaux demande une connaissance intime des choses du lac. Un voyageur d'occasion qui passe quelques jours sur nos rives ne peut se familiariser assez avec les détails du paysage lacustre pour discerner si celui-ci est intact ou altéré, ou dans quel sens il est altéré Pour de telles études il faut avoir vécu longtemps sur les plages du lac et avoir mis son intérêt à ces spectacles toujours changeants. Je puis compter sur mes doigts les physiciens de nos villes riveraines qui aient vu la fata-morgana assez bien pour la reconnaître spontanément.

la côte opposée. Je ne l'ai jamais vu apparaître avant 1 ou 2 heures de l'après-midi, jamais après 5 ou 6 heures du soir.

La fata-morgana est visible pour un spectateur dont l'œil est à quelques mètres au-dessus de la nappe du lac; deux ou quatre mètres semblent l'optimum de hauteur. Il suffit de quelques décimètres de plus ou de moins pour laisser apparaître ou disparaître la vision. Cette limitation dans la position favorable de l'œil, qui permette de voir le phénomène, est certainement une des causes de la rareté étonnante des observations.

Vu cette rareté des bonnes observations, nous avons pris, après Ch. Dufour, l'habitude de désigner la fata-morgana comme étant un fait de réfraction anormale; nous lui maintiendrons cette appellation quoique nous sachions fort bien que les phénomènes de la nature sont réglés par des conditions précises; il est sûr que, quand ces conditions sont représentées, l'apparition est nécessaire et constante.

Donc phénomène anormal, il est intermédiaire dans le temps entre les phénomènes que nous appelons normaux parce qu'ils sont fréquents et faciles à observer; il succède aux uns, il précède les autres.

Je connais comme phénomènes normaux, dans l'ordre des réfractions optiques à la surface du lac, les réfractions sur eau chaude et les réfractions sur eau froide, suivant que la nappe aqueuse est plus chaude ou plus froide que l'air superposé, par conséquent suivant que la stratification de l'air est directe ou inverse[1].

Les *réfractions sur eau chaude* sont les plus fréquentes; elles règnent constamment pendant toute la journée de l'automne et de l'hiver, pendant toute la matinée du printemps et d'une partie de l'été. Elles apparaissent lorsque l'air est plus froid que la nappe sur laquelle il repose. Dans ce cas, la stratification thermique de l'air est du type *inverse*, et la courbe des réfractions est à concavité supérieure. Elles sont caractérisées par :

[1] La stratification thermique est *directe* quand l'air étant refroidi par contact avec une eau froide, les couches superposées vont en se refroidissant de haut en bas; elle est *inverse* quand les couches de l'air vont en se refroidissant de bas en haut, les inférieures étant réchauffées par le contact avec une eau plus chaude.

1° Un abaissement du plan de l'horizon apparent du lac[1] au-dessous de sa position normale; l'horizon apparent est plus bas que l'horizon vrai.

2° L'exagération apparente de la rotondité de la terre, qui devient évidente à l'œil, tandis que normalement elle est méconnaissable.

3° Le rapprochement du cercle de l'horizon, beaucoup moins éloigné qu'il ne devrait l'être, étant donnée la hauteur de l'œil du spectateur au-dessus de la nappe d'eau.

4° L'exagération apparente des crêtes des vagues sous forme de dentelures surmontant la ligne de l'horizon.

5° L'apparition du *mirage* (le mirage du désert). Les objets bas sur l'eau, situés au-delà du cercle de l'horizon sont réfléchis en une image symétrique inférieure, renversée au-dessous de la ligne de partage (de Bravais) dans la zone qui sépare cette ligne de partage de l'horizon apparent du lac.

Ces détails sont d'autant mieux marqués que la différence est plus forte entre la température de l'air froid et celle de l'eau chaude.

Les réfractions sur eau froide sont plus rares que les précédentes; elles n'apparaissent que dans l'après-midi de la phase de réchauffement de l'année, au printemps et en été, et quelques fois même dans la matinée des journées ultra-chaudes du gros de l'été. Dans le cas où l'air est plus chaud que l'eau, les couches aériennes inférieures, refroidies par le contact de l'eau, sont, de par leur température, plus denses, la stratification thermique est du type *direct*, et la courbe des réfractions est à concavité inférieure. Ces réfractions sur eau froide sont caractérisées par :

[1] J'appelle *horizon vrai*, le cône tangent à la nappe du lac dont le sommet optique est dans mon œil situé à quelques mètres au-dessus de l'eau, et calculé en l'absence de toute réfraction; j'appelle *cercle de l'horizon vrai* la courbe formée par la série de ces points de tangence.

J'appelle *cône* et *cercle de l'horizon apparent* les mêmes lieux géométriques, tels que je les observe déformés ou déplacés par les réfractions atmosphériques.

Le cône de l'horizon est tellement surbaissé, tellement près d'être un plan, que l'on a l'habitude de parler du *plan de l'horizon*.

1° Une surévélation apparente du plan de l'horizon au-dessus de sa position normale; l'horizon apparaît plus haut que l'horizon vrai.

2° L'apparence concave que prend à l'œil la nappe du lac, convexe en réalité, qui semble une large vallée, à talus très peu inclinés remontant vers le large.

3° L'éloignement apparent du cercle de l'horizon ; des bateaux naviguant à distance qui devraient, pour la hauteur de l'œil du spectateur, être sur le cercle de l'horizon ou au delà, apparaissent dans le fond de la vallée illusoire, bien en deçà de ce cercle.

4° L'apparition des parties basses de la côte opposée, qui devraient normalement être masquées par la rotondité de la nappe aqueuse, segment de la sphère terrestre. Le château de Chillon, à 34 km. de distance, apparaît au spectateur debout sur le quai de Morges.

5° La déformation de la bande inférieure de la côte opposée, dont les objets sont aplatis, réduits dans leur hauteur apparente.

Ces détails ne se voient que lorsque les réfractions sur eau froide sont confirmées et établies. Celles-ci peuvent être précédées par ce que j'ai appelé le *mirage sur eau froide ;* voir la description que j'en ai donnée dans mon Léman [1]. Je ne m'y arrête pas ici, parce qu'il est inutile pour la démonstration que je veux présenter aujourd'hui.

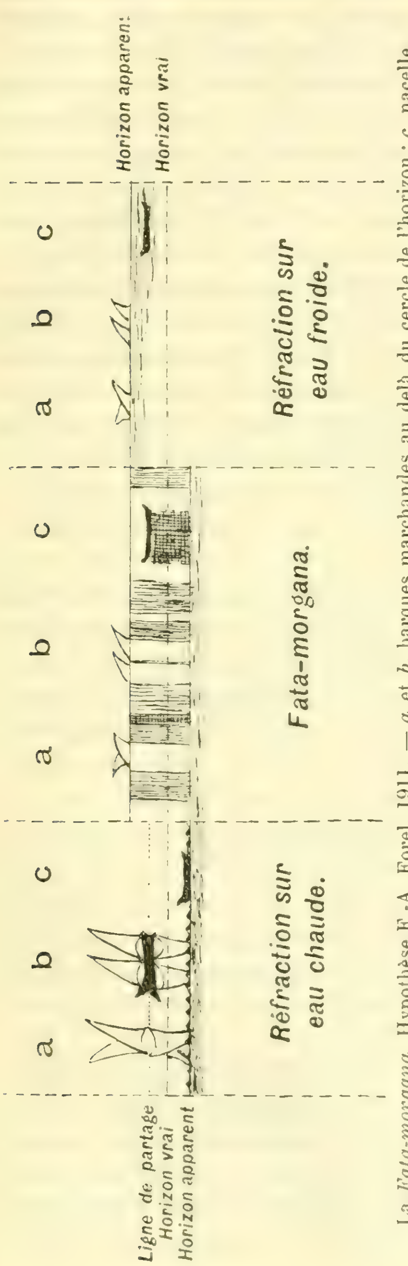
De ces caractères des réfractions que j'appelle normales, je ne retiendrai à présent que le principal, l'abaissement apparent du plan de l'horizon au-dessous de sa position vraie dans les réfractions sur eau froide, son relèvement apparent dans les réfractions sur eau froide.

Dans mes études sur la variation de l'horizon apparent [2], j'ai dû avant tout déterminer la position de l'horizon vrai. Je l'ai obtenue en visant alternativement avec ma lunette astronomique la cime d'une montagne faisant sil-

[1] *Loc. cit.*, p. 532 sv.

[2] *Bull. Soc. Vaud. sc. nat.*, XXXV, p. XXV. Lausanne 1899. *Arch.* VIII, p. 373. Genève 1899.

houette sur la côte opposée, la Dent d'Oche (altitude 2221 m., distance horizontale de Morges 24.4 km.), et l'image de cette montagne sur un horizon artificiel, un bassin d'eau ou de mercure. La moitié de l'angle obtenu, corrigée de la valeur de la dépression de l'horizon *(dip)* me donnait la position de l'horizon vrai.



La *Fata-morgana.* Hypothèse F.-A. Forel, 1911. — *a* et *b*, barques marchandes au delà du cercle de l'horizon ; *c*, nacelle en deçà de ce cercle. (Translation de la fata-morgana de droite à gauche.)

Rapportées à cet horizon vrai j'ai mesuré les variations de position de l'horizon apparent et les ai vues atteindre, dans les extrêmes, près de 8 minutes de degré en exhaussement et plus de 4 minutes en abaissement.

Etudions maintenant la succession des apparitions dans une journée de fin de printemps et de commencement de l'été pendant laquelle nous avons l'alternance des réfractions, l'air étant d'abord plus froid, ensuite plus chaud que la surface de l'eau dont la tem-

pérature est relativement constante. La température de l'air, inférieure à celle de l'eau dans la matinée, égale celle-ci vers midi et la dépasse dans l'après-midi ; par conséquent les deux types normaux de réfraction doivent apparaître l'un après l'autre. Dans la matinée l'air qui s'était notablement rafraîchi pendant la nuit est descendu, par exemple, à 10 ou 15°, tandis que l'eau, beaucoup moins variable, est restée à 16 ou 18° ; disons : température de l'air 15°, température de l'eau 18°. Les réfractions sur eau chaude sont dans toute leur perfection : l'horizon du lac est fortement surbaissé au-dessous de l'horizon vrai. L'air se réchauffe rapidement sous l'action puissante d'un beau soleil ; l'eau dont la capacité calorique est plus forte, se réchauffe aussi, mais plus lentement. La température de l'air égale bientôt celle de l'eau et ne tarde pas à la dépasser. Dans les heures de l'après-midi l'eau monte à 20°, l'air à 26 ou 28°. Les réfractions sur eau froide sont développées, l'horizon apparent est surélevé, la surface du lac paraît concave.

Mais la transformation entre les deux régimes de réfractions ne se fait pas lentement, progressivement ; les réfractions sur eau chaude avec horizon déprimé ne s'atténuent pas petit à petit pour arriver à être nulles : les réfractions sur eau froide n'apparaissent pas peu à peu en partant de zéro lorsque la température des deux milieux est égale pour arriver à un maximum lorsque la différence de température est la plus forte. La transformation n'a pas lieu simultanément sur l'ensemble du lac ; le changement se fait subitement en un endroit, et successivement d'un point à l'autre. A un moment donné on peut avoir, en même temps, sur une partie du tableau les réfractions sur eau chaude encore parfaitement caractérisées, et sur une autre partie les réfractions sur eau froide déjà fort nettement reconnaissables.

C'est à ce moment qu'apparaît la fata-morgana, représentée comme je l'ai déjà dit par une zone striée de rectangles juxtaposés. Cette fata-morgana montre dans ses allures des faits au premier abord déconcertants. Son point d'apparition, quand nous la reconnaissons pour la première fois dans l'après-midi, n'est pas fixé ; il peut être dans l'un quelconque des azimuts

du tableau. Elle se déplace lentement, en certains cas dans un sens, en d'autres cas dans l'autre. Les déplacements du lieu d'apparition de la fata-morgana que j'ai observés dans les dernières années m'ont donné la clef de l'explication du phénomène. L'étude assez difficile de ces allures m'a amené aux constatations que je réduis en quatre thèses :

I. — La fata-morgana se voit dans le lieu situé entre les deux régions où règnent les réfractions opposées, celle où existent encore les réfractions sur eau chaude de la matinée, celle qui est déjà envahie par les réfractions sur eau froide de l'après-midi.

II. — La ligne inférieure de la zone striée de la fata-morgana se continue avec la ligne surbaissée de l'horizon des réfractions sur eau chaude ; la ligne supérieure avec la ligne surélevée de l'horizon des réfractions sur eau froide.

III. — Le déplacement de la fata-morgana se fait toujours dans un sens déterminé, à savoir de la région où règnent déjà les réfractions sur eau froide vers celle où règnent encore les réfractions sur eau chaude. Ce sont les réfractions sur eau froide qui envahissent la scènerie et l'occupent de plus en plus.

IV. — Quand j'ai pu surprendre le lieu de première apparition de la fata-morgana je l'ai toujours vu à l'une des extrémité du cercle de l'horizon [1].

[1] Si mon hypothèse est *bonne*, la rupture d'équilibre qui produit la fata-morgana peut avoir lieu parfois, non pas à l'une des extrémités du tableau de la côte opposée, mais au milieu de ce tableau. Dans ce cas la fata-morgana, d'abord unique, se dédoublerait bientôt en deux parties s'éloignant l'une de l'autre, l'une marchant vers la droite, l'autre vers la gauche ; entre les deux, l'horizon surélevé des réfractions sur eau froide envahirait toujours plus la scènerie, tandis que, dans les deux secteurs extérieurs aux fatas-morgana, l'horizon déprimé des réfractions sur eau chaude perdrait progressivement en étendue, jusqu'à ce que les deux fatas-morgana aient disparu aux extrémités du tableau. Depuis que j'ai conçu la généralisation qui fait le sujet de ce mémoire, j'ai cherché en vain à constater ce spectacle. Si je n'y arrive pas, je laisserai cette observation en héritage à mes successeurs. Ce serait un *experimentum crucis* démontrant définitivement la légitimité de mon hypothèse.

En combinant ces quatres groupes d'observations j'arrive à la conclusion :

a) Que la fata-morgana siège au lieu où se fait la transformation d'un type à l'autre de réfraction, des réfractions sur eau chaude de la matinée aux réfractions sur eau froide de l'après-midi ;

b) Que, dans ce lieu, l'œil placé à hauteur convenable, aperçoit, simultanément et en superposition, l'horizon surbaissé des premières, réfractions sur eau chaude, et l'horizon surélevé des secondes, réfractions sur eau froide.

c) Que les objets éclairés du bord inférieur de la côte opposée, étendus, étirés en hauteur entre les deux lignes simultanément visibles de l'horizon du lac, se montrent sous la forme des rectangles juxtaposés de la zone striée de la fata-morgana.

Dans mon mémoire de 1896 j'ai montré que le passage d'un type à l'autre des réfractions ne se fait pas lentement et progressivement ; que lors même que, vers le milieu de la journée, la température de l'air devient égale à celle de la nappe d'eau, et la dépasse bientôt légèrement, le type des réfractions sur eau chaude, caractérisé entr'autre par l'abaissement de l'horizon apparent et par le mirage persiste, pendant encore un certain temps. Pendant que dure ce mirage sur eau froide il doit y avoir un équilibre instable des statifications thermiques des couches inférieures de l'air [1]. C'est à la rupture de cet équilibre instable et à sa transformation rapide en l'équilibre stable de la stratification thermique directe que doit correspondre notre fata-morgana. Ainsi s'expliquerait la soudaineté de l'apparition transitoire et son peu de durée [2].

[1] On ne voit jamais l'apparition de la fata-morgana quand le vent souffle à la surface du lac ; dans ce cas il ne peut y avoir développement d'un équilibre instable, qui serait plus tard soudainement rompu. J'y vois un argument puissant en faveur de mon hypothèse.

[2] Dans cette étude sur les conditions d'apparition de la fata-morgana, j'ai simplifié autant que possible la description, et je m'en suis tenu aux grands traits, seuls indispensables à mon exposé. En faveur de l'assimilation, proposée par Ch. Dufour et défendue par moi, du phénomène, tel que nous le voyons sur le Léman, à la fata-morgana du détroit de Messine, je pourrais invoquer plusieurs des détails d'observation que j'ai racontés dans mon Léman, *loc. cit.* Par exemple, une barque prise

Je me permets de soumettre ces nouvelles observations et déductions aux physiciens ; peut-être y trouveront-ils les bases d'une théorie mathématique du phénomène.

dans la zone striée de la fata-morgana, un bateau à vapeur, une maison de figure connue, peuvent être déformés au point de devenir absolument méconnaissables ; ils ne sont jamais inclinés en des positions physiquement impossibles comme dans le dessin de Minasi, mais leurs dimensions partielles ou totales sont incroyablement altérées ; ne serait-ce pas l'excuse du peintre qui avec les moyens restreints dont il disposait a essayé de dessiner des images qu'il ne pouvait s'expliquer ? L'étirement en hauteur des objets situés dans la zone striée, l'aplatissement des objets au-dessus de la ligne d'horizon supérieur, la multiplication des images d'un même objet, la superposition d'images redressées ou renversées, etc., etc., sont tellement étonnants ou irrationnels qu'ils font pardonner les hésitations de spectateurs troublés et désorientés par ces apparitions fantastiques. Le cliché ci-joint (p. 477) illustre mon hypothèse; il ne réclame pas d'autre explication.

LES RECHERCHES DE RITZ

SUR LA PHOTOGRAPHIE DU SPECTRE INFRA-ROUGE

NOTE PAR

Pierre WEISS

Les études faites par Ritz en vue de réaliser la photographie de l'infra-rouge et de retrouver le collodion d'Abney dont la sensibilité dépassait notablement l'extrémité du spectre visible se rattachent aux efforts qu'il a faits dans sa thèse pour compléter les lois des séries. En 1904, au cours de l'année qu'il passa à Paris, il a consacré une grande partie de son temps à la recherche de ce procédé, sans grand succès. C'est le souvenir de cette époque qui lui faisait écrire :

« Je ne saurais douter que si le succès m'attend, c'est bien « plus dans des recherches théoriques que dans les expériences. « et j'ai bien lieu de croire que parmi mes travaux en grande « partie terminés on appréciera les premières plus que les « secondes. Alors j'ai toujours le sentiment, en revenant d'un « combat acharné contre des prismes, des caoutchoucs et des « lampes Nernst, qu'au fond je n'ai rien fait d'utile et le démon « mathématique profite de cette disposition pour s'insinuer « doucement.....

« A Gœttingue, quand j'avais absorbé ma dose de théorie « j'avais les environs si gentils de la ville pour me promener, « j'avais des livres intéressants de la grande bibliothèque. « j'avais des amis et j'étais heureux ».

Ritz ne s'est pas trompé, c'est la théorie qui lui réservait ses

plus beaux succès, et cependant quel expérimentateur merveilleux ! Après les longs loisirs que lui avait donné l'hiver suivant au sanatorium de Saint Blasien, après les journées de chaise longue au cours desquelles, plus qu'il ne l'aurait fallu pour sa santé, son esprit était en éveil, ses idées sur la réalisation des plaques photographiques s'étaient classées. Il en revenait avec un nouveau plan de travail résultant du rapprochement de l'expérience acquise avec certaines idées théoriques et notamment celle de résonnance électro-magnétique des grains du bromure.

En cinq semaines passées au laboratoire de l'Ecole polytechnique à Zurich, il réussit à réaliser son idée et à mettre sur pied un procédé de préparation dépassant la limite de sensibilité des plaques au *collodion* d'Abney. Mais c'est par une ingénieuse préparation de plaques à la *gélatine* qu'il arriva au but. C'est ce procédé qui a été reconstitué d'après ses notes de laboratoire avec l'aide précieuse et particulièrement compétente de A. Cotton qui avait suivi ses premiers efforts à Paris [1].

J'ai été témoin de la satisfaction que lui causa sa découverte. Cependant, quelques mois plus tard, ses idées théoriques ayant évolué, il ne considérait plus son travail comme achevé. Les quelques lignes que nous citons au bas de la page 191 de ses *Oeuvres* [2] et qui contiennent cette phrase :

« et l'ionisation démontrée être le facteur principal de cette « transformation du bromure »,

rapprochée des notes qu'il avait prises dans les mémoires de Stas et de Perrin, font craindre qu'avec lui n'ait disparu une intuition nouvelle du mécanisme photographique lui-même.

En attribuant une grande portée aux expériences dans l'infrarouge, il avait vu juste. Et, s'il ne lui a pas été donné de faire les observations comme il l'avait projeté, il a tiré le parti le plus merveilleux des expériences faites par d'autres physiciens au moment précis où ses idées arrivaient à maturité. C'est en discutant les mesures encore peu précises de Moll et de Berg-

[1] Voir ci-dessous, page 435, la note que nous avons redigée sur ce sujet, M. Cotton et moi, d'après le cahier de laboratoire de Ritz et qui forme le numéro XIV du volume de ses *Oeuvres*.

[2] Voir plus bas, p. 490, l'avant-dernière phrase de la note.

mann qu'il découvrit le Principe de Combinaison des spectres en séries, qui est sans doute le plus grand progrès fait en la matière depuis les découvertes de Balmer et de Rydberg. Puis les mesures bolométriques de Paschen, si précises et si étendues, sont venues apporter encore d'éclatantes confirmations qu'il a connues en partie grâce à un échange de lettres [1] avec leur auteur. Depuis sa mort, ces confirmations se sont encore accentuées; le Principe de Combinaison a pleinement montré sa fécondité dans l'étude des spectres; il n'a sans doute pas dit son dernier mot dans la physique des atomes.

[1] *Œuvres,* p. 521-525.

PLAQUES

POUR

LA PHOTOGRAPHIE DU SPECTRE INFRA-ROUGE

d'après le cahier de laboratoire de RITZ

PAR

A. COTTON et Pierre WEISS [1]

La Note des *Comptes rendus* publiée par Ritz le 16 juillet 1906 ne renferme que des indications générales sur les essais qu'il avait faits sur ce sujet à diverses reprises. Il les avait entrepris dans le but de rechercher lui-même les raies d'émission de certains métaux que ses formules spectrales lui faisaient prévoir, et qui ont, depuis, été effectivement observées par d'autres procédés.

La Note des *Comptes rendus* renferme l'essentiel des résultats concernant les premières expériences qui ont porté sur le procédé d'Abney. Ce physicien, en soumettant à la chaleur,

[1] Gesammelte Werke, **Walther Ritz**, Oeuvres publiées par la Société suisse de physique. Un beau vol. gr. in-8°, de 541 pages avec figures dans le texte et un portrait de l'auteur. Paris, Gauthier-Villars, imp.-libraire, 1911.

Nous avions hâte de signaler tout de suite à nos lecteurs dès son apparition et en tête du bulletin bibliographique de notre dernier numéro, la publication des œuvres de Walther Ritz, entreprise par la Société suisse de physique et confiée par elle aux soins de M. P. Weiss, le distingué professeur de physique à l'Ecole polytechnique de Zurich, l'ami et le confident du jeune et génial savant trop tôt enlevé à ses belles recherches si pleines de promesses. Nous ne pouvions nous en tenir à cette brève annonce et pour mieux marquer la haute valeur de cette très belle publication qui fera sensation dans le monde de la science, nous avons demandé aux excellents éditeurs de nous autoriser

dans des conditions convenables, un collodion au bromure d'argent, avait obtenu une émulsion, caractérisée par une coloration bleue, par transparence, avec laquelle il a pu photographier le spectre *solaire* jusqu'à $1^{\mu},4$ environ. Les expériences n'avaient jamais pu être reproduites. Ritz qui y avait réussi, non sans peine, indique dans la Note pour quelles raisons surtout [1] ceux qui avaient essayé avant lui avaient échoué. Mais il ne semble pas utile de chercher à compléter les indications données sur le procédé d'Abney dans cette Note. Ritz, en effet, a réussi à préparer, non plus avec du collodion, mais avec de la gélatine, des plaques beaucoup plus sensibles et d'un emploi plus commode.

Ses expériences sur ce sujet ont été interrompues au moment où elles lui avaient donné les résultats les plus encourageants. Voici un *procédé opératoire,* extrait de son cahier de laboratoire. (Mai et juin 1905).

On prépare d'abord une solution de gélatine à 10 pour 100 en faisant dissoudre (température 65° environ) 14 gr. de gélatine de Winterthur dans 140 gr. d'eau.

On fait ensuite le précipité de bromure d'argent en pulvérisant, au moyen de l'appareil représenté figure 1, une solution de nitrate d'argent. La pression était obtenue commodément au moyen d'une bombe d'acide carbonique munie d'un détendeur.

1°	Bromure de zinc........	1,90 gr.
	Eau	30 cm³.
2°	Nitrate d'argent........	3 gr.
	Eau	30 cm³.

à reproduire ici deux des notes qui forment ce livre (nos XIV et XXVIII) qui sont encore inédites, ayant été rédigées l'une par M. Weiss, l'autre par MM. Cotton et Weiss, d'après les cahiers de laboratoire de l'auteur et des notes prises dans le cours de conversations avec lui.

Nous devons en outre à M. Weiss la faveur de pouvoir faire précéder le premier de ces articles de la note qu'on vient de lire et dans laquelle, en ami fidèle, il donne la genèse de la pensée de Ritz. Nous le remercions bien sincèrement ici et nous remercions aussi M. Gauthier-Villars de son obligeance en le félicitant pour la belle exécution du volume des *Oeuvres*, qui sera bientôt dans toutes les bibliothèques scientifiques. *Réd.*

[1] Les différences entre les diverses pyroxylines, et la viscosité du collodion variant par suite dans d'énormes proportions.

(Dans cette expérience il y a donc un léger excès de nitrate d'argent).

La pulvérisation faite, on maintient pendant 10 minutes à une température de 40° à 50°, on lave, puis on émulsionne le précipité à la température de 40° en l'ajoutant à 35 cm³ de la solution de gélatine, de sorte que le volume total soit d'environ 40 cm³. On ajoute 0,2[1] de bromure d'ammonium. On porte pendant 15 minutes à une température comprise entre 90° et 100°. On laisse refroidir pendant 5 heures, on coule sur la plaque et on laisse sécher pendant 12 heures.

Dans le cahier de laboratoire dont est extrait ce procédé, il n'y a pas de renseignement sur la teinte de l'émulsion après le murissage, c'est-à-dire dans les conditions où Ritz l'employait ; d'après sa Note aux *Comptes rendus* il semble que le bromure précipité à froid par ce procédé était bleu par transmission. D'après le cahier, l'émulsion aussitôt après sa préparation à 40°, n'était pas bleue mais grise, tirant plus ou moins sur le rose.

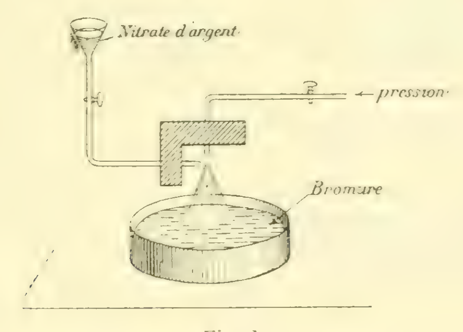


Fig. 1

Après 5 minutes d'exposition à un spectre donné par une lampe Nernst et un prisme à vision directe, il obtenait une impression qui allait jusqu'à la limite d'action de l'infra-rouge sur un écran de sulfure de zinc phosphorescent. La phosphorescence est détruite par les rayons infra-rouge de longueur d'onde inférieure à 1μ,4 ou 1μ,5, nombres donnés par Becquerel et adoptés par Ritz. C'est cette limite qui est indiquée en M

[1] Grammes ou centimètres cubes d'une solution titrée ?

dans la figure 2, dans laquelle les deux doubles traits verticaux R représentent deux repères en fil métallique qui se marquaient par leur ombre sur la plaque. *l* est la limite de sensibilité des plaques panchromatiques Lumière.

Comme Ritz l'indique dans sa Note aux *Comptes rendus,* il a aussi préparé le bromure d'argent, par le même procédé de pulvérisation, avec des solutions alcooliques :

1°	Bromure de zinc........	1,90 gr.
	Alcool	30 cm³.
2°	Nitrate d'argent	3,0 gr.
	Eau	3 cm³.
	Alcool	30 cm³.

Le reste de la préparation a été fait exactement comme ci-dessus. La sensibilité semblait s'étendre un peu moins loin que dans la préparation à l'eau (2 mm. dans la figure 2).

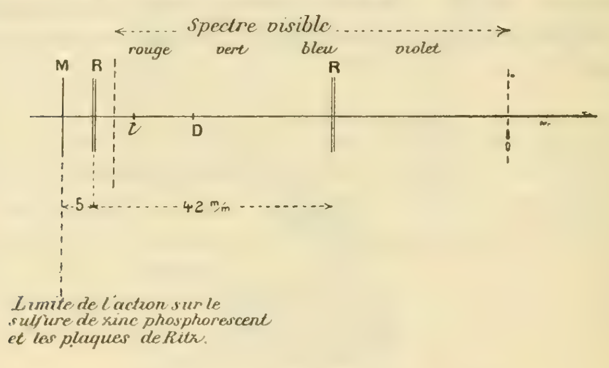


Fig. 2

Au moment où il interrompit les expériences, Ritz considérait que les deux recettes ci-dessus contenaient une solution du problème. Il pensait qu'elle devait encore être perfectionnée en remédiant au défaut du voile, par les procédés habituellement employés à cet effet.

Il se proposait aussi de varier d'une façon systématique les conditions de cette préparation. On a vu qu'il faisait la pulvérisation de la solution de nitrate dans celle de bromure. Il se proposait d'essayer l'inverse. Les liqueurs employées correspondaient à un excès de nitrate, il fallait essayer un excès de

bromure. Il restait aussi à voir si l'excès d'un des réactifs est utile pendant le chauffage, s'il ne serait pas avantageux de laver le précipité avant de le chauffer pour la première fois, de le laisser refroidir avant l'émulsification, etc.

Quelques semaines plus tard, après la lecture de deux Mémoires de Stas (*Annales de Chim. et de Phys.*, 4e série, t. XXV, 1872, p. 22 et 5e série t. III, 1874, p. 149 et 289), il semble avoir cru à la possibilité d'en déduire une préparation plus rationnelle et simplifiée des mêmes plaques et, peut-être, d'augmenter leur sensibilité.

Stas avait établi que le chlorure d'argent sous ses deux états, floconneux et grenu (cristallin), possède des solubilités différentes et des sensibilités à la lumière différentes (*voir* notamment le premier Mémoire de Stas, p. 44) ; le bromure d'argent, quoique moins soluble dans l'eau pure, peut être obtenu aussi sous ces deux états. Ritz estimait que c'était la variété grenue (ou cristalline) qu'il fallait obtenir. C'est pourquoi il songeait notamment à prendre du bromure préparé avec des solutions concentrées, le laver, le mettre en présence d'une *grande quantité d'eau* en agitant énergiquement, puis à le soumettre à une cuisson prolongée dans un bain d'eau bouillante, ou même à l'autoclave et au besoin, comme l'avait fait Stas pour le chlorure d'argent, à des alternatives de chauffe et de refroidissement. On émulsifierait enfin le bromure amené à l'état voulu.

L'idée de la résonnance électromagnétique des grains de bromure l'avait conduit dès le début de ses recherches sur les plaques photographiques. On a émis cette hypothèse de la résonnance pour expliquer la coloration de certaines solutions colloïdales métalliques renfermant des particules ultramicroscopiques. Ritz paraît avoir admis que si des particules de bromure d'argent sont 100 à 1000 fois plus grandes que les particules d'argent métallique en résonnance avec les mêmes ondes, cela tiendrait à ce que la conductibilité est aussi 100 à 1000 fois plus petite.

Le contrôle de cette hypothèse lui paraissait accessible à l'expérience, en mesurant soit directement ou par leur vitesse de chute, la grosseur des grains.

Peu après, ses reflexions ont reçu une impulsion nouvelle par

la lecture des Mémoires de J. Perrin sur *L'Électrisation de contact et les solutions colloïdales* (*Journal de Chimie physique*, t. II, 1904, p. 601 et t. III, 1905, p. 50). Il avait joint à ses notes photographiques des extraits de ces Mémoires et semble avoir espéré y trouver le moyen de pénétrer plus avant dans le mécanisme de la sensibilité du bromure, comme le montre la réponse suivante qu'il fit à une demande de publication plus complète :

Sion, 20 mars 1906.

... Je ne suivrai sans doute pas votre conseil de rédiger mes procédés photographiques. Le clou manque encore, ce serait l'affaire de quelques expériences qui fermeraient le cycle en fortifiant toutes les autres conclusions et expériences, le procédé de Burbank[1] combiné avec le mien, et l'ionisation démontrée être le facteur essentiel de cette transformation du bromure. J'ai horreur de publier des choses mal finies...

[1] G. Meyer, *Physikal. Zeitschr.*, t. I, 1900, p. 6.

SUR

LES SPECTRES DE BANDES

d'après quelques notes manuscrites de Ritz et une conversation

PAR

Pierre WEISS [1]

Première partie

Mécanisme d'émission des spectres de bandes

Dans le Mémoire [2] où Ritz étudie un mécanisme électromagnétique simple émettant les spectres en série, il dit (*Œuvres*, p. 112) :

« Auf Bandenspektren sind diese Theorien nicht anwendbar. Ich möchte mich in dieser Hinsicht auf die Bemerkung beschränken, dass man sie vielleicht geschlossenen Ringen oder Polygonen, aus den betrachteten Elementarmagneten bestehend, zuschreiben könnte, in der Annahme, dass solche Gebilde eine wichtige Rolle im Baue des Atoms spielen, und dass sie durch die lichterregenden elektrischen oder chemischen Prozesse erst gesprengt werden müssen, bevor ein Serienspektrum zustande kommen kann ».

Il a été trouvé dans les papiers laissés par Ritz, sur une petite feuille portant des équations et quelques mots de texte, une ébauche de théorie de ce mécanisme d'émission des spectres de bandes que je vais essayer d'expliquer.

Rappelons que l'organe d'émission des spectres en séries, imaginé d'abord comme des bâtonnets magnétiques et non magnétiques, juxtaposés en ligne droite, peut être réalisé de diverses façons. Ritz se représentait volontiers [3] les bâtonnets magnétiques comme fournis par des solides de révolution chargés d'électricité à leur surface et animés d'un mouvement

[1] *Oeuvres de Ritz*, n° XXVIII, pp. 526-535.

[2] *Magnetische Atomfelder und Serienspektren* (*Œuvres*, VII, p. 98).

[3] *Loc. cit.; Œuvres*, p. 108.

rapide de rotation autour de leur axe. Il s'était rendu compte, en particulier, que pour des solides de révolution quelconques on peut trouver une distribution superficielle d'électricité qui les rend équivalents à des systèmes de deux pôles magnétiques situés sur l'axe. Lorsque les deux pôles magnétiques se rapprochent de la surface, la densité électrique augmente indéfiniment dans leur voisinage, et les surfaces portant l'électricité deviennent pratiquement équivalentes à des charges ponctuelles. Ces solides sont alternativement positifs et négatifs et doués de rotation de sens contraire. Ils sont fixés les uns aux autres, en chaîne linéaire, par leur attraction électrostatique. Il avait pensé que les bâtonnets non magnétiques, exigés eux aussi par la théorie des spectres en série, pourraient être des corps électrisés de même espèce mais dépourvus de rotation, puis, faisant un pas de plus, que l'électron vibrant et le pôle électrique libre à l'extrémité de la file des bâtonnets sont une seule et même chose.

Supposons que, supprimant les bâtonnets non magnétiques, on considère une file de bâtonnets magnétiques. On peut admettre que, lorsqu'elle est soumise à une tension α^2, elle possède la propriété de prendre des mouvements vibratoires analogues à ceux d'une corde ou plutôt d'une chaîne.

Il règne le long de cette corde un champ magnétique H dirigé dans le sens de la longueur, et elle porte des charges électriques équidistantes. Supposons que ces charges exécutent des vibrations circulaires autour de l'axe sous l'influence combinée de la tension α^2 et du champ H. (Les notes de Ritz sont muettes sur la raison pour laquelle l'action du champ sur les charges positives et négatives voisines ne se neutralisent pas. On peut peut-être invoquer à cet effet une différence de configuration des charges positives et négatives, que l'on est disposé à admettre par ailleurs. Les unes, occupant un espace plus étendu, seraient, par exemple, partiellement en dehors du champ).

L'état vibratoire est alors décrit par

$$(1)\qquad \begin{cases} y = A \sin \dfrac{m\pi x}{a} \sin \nu t, \\ z = A \sin \dfrac{m\pi x}{a} \cos \nu t, \end{cases}$$

où a est la distance entre deux nœuds consécutifs pour la vibration fondamentale et $\nu : 2\pi$ la fréquence. Les équations du mouvement d'un élément de corde dx, de masse μdx, et de charge εdx contiendront le terme d'inertie et les forces provenant du champ magnétique et de la tension de la corde :

$$(2) \quad \left\{ \begin{aligned} \mu\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \varepsilon \mathrm{H}\frac{\partial z}{\partial t} - a^2\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0, \\ \mu\frac{\partial^2 z}{\partial t^2} - \varepsilon \mathrm{H}\frac{\partial y}{\partial t} - a^2\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0, \end{aligned} \right.$$

d'où en substituant (1), deux fois la même équation :

$$(3) \qquad \mu\nu^2 + \varepsilon\nu \mathrm{H} - \frac{m^2\pi^2}{a} a^2 = 0,$$

dans laquelle H peut aussi être remplacé par — H, donc

$$(4) \qquad \nu = \pm \frac{\varepsilon \mathrm{H}}{2\mu} \pm \frac{\varepsilon \mathrm{H}}{2\mu}\sqrt{1 + \frac{4m^2\pi^2\mu}{\varepsilon^2\mathrm{H}^2a^2} a^2}.$$

Les solutions correspondant aux deux signes + et aux deux signes — sont seules acceptables. En posant

$$\frac{4\pi^2a^2\mu}{\varepsilon^2\mathrm{H}^2a^2} = k^2,$$

nombre qui est petit quand la tension de la corde a un rôle subordonné par rapport au champ, on a

$$(5) \qquad \nu = \frac{\varepsilon \mathrm{H}}{\mu}\left(1 + \frac{m^2k^2}{4} - \frac{m^4k^4}{16} + \ldots\right).$$

Pour $m = 0$, on retrouve la fréquence d'une charge décrivant un cercle dans le champ H. Si l'on s'arrête au deuxième terme, on a la loi de Deslandres avec $\nu_0 = \frac{\varepsilon \mathrm{H}}{\mu}$ pour la tête de la bande. Si l'on conserve le troisième terme, ν croît moins vite, comme le veut l'expérience dans certaines bandes à raies nombreuses.

Ritz est amené ici à choisir entre une file rectiligne et un anneau fermé. Il donne la préférence à ce dernier dans les termes suivants : « S'il y a deux extrémités, les lignes devraient être d'abord simples ($m = 1, 2, \ldots$), puis à m grand correspondront des vibrations diverses selon que l'on se trouve aux extrémités ou au milieu. Donc anneau circulaire ».

ν croît avec m, la bande a donc la tête du côté rouge. Pour obtenir des valeurs de ν décroissantes, il faut supporter α^2 négatif. L'anneau, au lieu d'être tendu, est comprimé dans la direction de la périphérie.

L'écartement entre deux raies consécutives est donné, à partir de la formule complète (4), par

$$\frac{d\nu}{dm} = \frac{\nu_0}{2} \frac{mk^2}{\sqrt{1 + m^2k^2}}. \tag{6}$$

Il croît plus lentement que la loi de Deslandres l'indique, et cela est conforme à l'expérience. Mais l'écart ne cesse pas de croître. La formule ne donne donc pas le maximum d'écartement des expériences Kaiser et Runge[1] sur le spectre du cyanogène[2].

Sur une autre feuille de notes de Ritz se trouve la trace de nombreuses tentatives pour trouver la meilleure formule empirique à trois constantes représentant ces expériences de Kaiser et Runge. Cette feuille paraît être antérieure à ses idées sur l'origine électromagnétique des spectres et n'est donc qu'indirectement en rapport avec ce qui précède. Il essaye notamment

$$\nu = a + bm^2 \sqrt{1 + cm^4}$$

et les trois premiers termes de son développement

$$\nu = a + bm^2 + cm^6$$

et trouve que le terme en m^6 varie trop rapidement. Il essaye

$$\nu^2 = a + bm^2 + cm^4$$

et

$$\nu = a + bm^2 + cm^4.$$

Il trouve cette dernière formule préférable aux autres et note à ce propos que « *à partir de la* 160e *raie les fonctions* $\nu = f(m)$

[1] Kaiser et Runge, *Wied. Ann.*, t. XXXVIII, 1889, p. 80.

[2] La même feuille de Notes porte encore l'indication suivante, qui se rapporte à une solution possible du problème, dans laquelle n'intervient pas la tension a^2 : « Outre le champ magnétique constant qu'il produit dans toute sa longueur, un anneau peut être soumis encore à des champs magnétiques extérieurs, variables de point en point, faibles par rapport au premier ».

et $\nu^2 = f(m)$ *se comportent d'une manière non régulière* ». Nous allons revenir sur ce point. Il essaye encore

$$\nu^2 = \frac{a + bm^2}{1 + am^2};$$

l'erreur est un peu plus grande que ci-dessus.

Dans une conversation, Ritz avait énoncé une idée qui rattache ce qu'il appelle *le caractère non régulier de la fonction* ν *pour les raies d'ordre élevé* au mécanisme d'émission. Il s'était exprimé à peu près de la manière suivante :

On possède dans certaines bandes des nombres de raies considérables dont la composition est déterminée avec exactitude, mais quelle que soit la loi empirique avec laquelle on cherche à représenter la distribution des raies dans ces bandes, il arrive un moment où, pour un numéro d'ordre élevé des raies, cette loi est en défaut. Si l'on a recours à une représentation graphique, la courbe tourne court avec une brusquerie que les formules habituelles ne rendent pas.

Imaginons que la partie de l'atome, dont les vibrations émettent des spectres de bandes, ait une structure analogue à celle d'une chaîne composée de maillons de longueur déterminée. On conçoit alors très bien que les vibrations se produisent pour la plus grande partie du phénomène, comme si la chaîne avait une structure continue, tandis que, pour des longueurs d'ondes voisines de la longueur du maillon (ou de certaines valeurs particulières en relation avec elle), les nombres de vibrations sont influencés par la grandeur finie de l'élément.

Deuxième partie

Structure des bandes

A la question qui lui avait été adressée : N'est-il pas établi que les bandes ont quelquefois deux *têtes*, l'une du côté des grandes longueurs d'ondes, l'autre du côté des petites ? [hypothèse de Thiele[1]], Ritz avait répondu sans commentaires : « Cette idée n'est pas soutenable ».

Les Tableaux de nombres trouvés dans ses notes montrent que cette conviction se rattache aussi à l'étude des bandes du

[1] Thiele. *Astroph. Journal*, t. VI, 1897, p. 65.

cyanogène observées d'abord par Kayser et Runge[1], puis par Jungbluth[2] et dont les têtes sont à 3883,56 ; 3871,53 ; 3761,85 et 3854,85 Å.

Voici en quelques mots l'état de la question : King[3] ayant découvert de nouvelles têtes dirigées du côté des petites longueurs d'ondes, a cru pouvoir les considérer comme les *queues* correspondant aux *têtes* anciennement connues et les a associées en faisant chevaucher les bandes les unes sur les autres. Comme preuve de cette coordination, il donne des relations numériques entre les longueurs d'ondes des têtes et des queues. Elles sont contenues dans le Tableau suivant :

T_n	Q_n	$\frac{T_n}{Q_n}$	T_n	Q_n	$\frac{T_n}{Q_n}$
3590,52	3203,84	1,12069	3883,60	3465,69	1,12059
3585,99	3180,58	1,12746	3871,59	3433,17	1,12770
3584,10	3160,32	1,13409	3861,91	3405,04	1,13417

La valeur démonstrative de ce Tableau me paraît faible. D'après la loi de Deslandres, qui est applicable aux têtes de bandes d'une série, comme aux raies d'une bande, les distances entre les têtes successives, mesurées à l'échelle des fréquences, forment une progression arithmétique. Supposons que l'on associe deux séries de bandes tournées en sens contraire et obéissant l'une et l'autre à cette loi, mais entièrement indépendantes quant à leur origine. Si les raisons des deux progressions sont voisines, comme cela arrive fréquemment[4], les distances entre les têtes et les queues formeront elles aussi une progression arithmétique et cela pourra se produire suivant que les raisons seront de même signe ou de signe contraire, quand on se déplace à partir des premières bandes dans le même sens ou en sens contraire (Criterium de dépendance invoqué par Jungbluth). Il en sera de même ainsi quelles que soient les deux premières bandes que l'on associe et que l'on se déplace à partir de celle-ci dans le même sens ou en sens contraire.

[1] Kaiser et Runge. *Wied. Ann.*; t. XXXVIII, 1889, p. 80.

[2] Jungbluth, *Regularities in the Structure of the third Cyanogen Band* (*Astroph. Journal*, t. XX, 1904, p. 237).

[3] King. *Astroph. Journal*, t. XIV, 1901, p. 323.

[4] Voir, par exemple, Fabry, *J. de Phys.*, 4e série, t. IV, 1905, p. 245.

En première approximation, le quotient des fréquences variera, lui aussi, en progression arithmétique. C'est ce que trouve King. Eu égard à la grande similitude des séries de bandes successives, on ne saurait attribuer une portée quelconque à ce que ce quotient passe deux fois approximativement par les mêmes trois valeurs.

Cet argument paraît néanmoins avoir pesé d'un assez grand poids dans la conviction de Kayser[1], qui considère comme certain que King ait trouvé les queues correspondant aux têtes et que par suite l'hypothèse de Thiele soit exacte.

Jungbluth se propose de contrôler cette hypothèse en faisant de nouvelles mesures sur une partie des bandes anciennement connues. Pour les discuter, il porte en abscisses[2] les longueurs d'ondes et en ordonnées la différence des longueurs d'ondes de deux raies consécutives. Les courbes qu'il obtient ainsi pour quatre des bandes du cyanogène partent de leurs têtes T_1, T_2, T_3, T_4 avec une allure approximativement parabolique, qui correspond à la loi.

$$\nu = A + (Bn + C)^2$$

(ν = fréquence, n = nombre entier) de Deslandres ; mais pour les raies de numéros d'ordre élevés la courbe est nettement audessous de la parabole et l'écart entre les raies consécutives passe même par un maximum. Ces courbes expérimentales sont continuées en pointillé et semblent aboutir naturellement, dans le dessin original de Jungbluth, pour les trois dernières bandes à des queues Q_2, Q_3, Q_4 indiquées par King. Pour la première, une tête de King faisant défaut dans la région où Jungbluth l'attend, il continue la courbe par continuité, et détermine la position de la queue Q_1, dans une région où elle est inobservable par suite de la présence d'une bande intense.

Laissant celle-ci de côté, nous avons :

	Têtes d'après Jungbluth	Têtes d'après King		Queues supposées
T_2....	3871,53	4152,93	Q_2....	3603,12
T_3....	3861,85	4158,22	Q_3....	3628,98
T_4....	3854,85	4165,54	Q_4....	3658,27

[1] Kayser, *Handbuch der Spektrosk.*, t. II, p. 487.

[2] La figure donnée plus loin est celle de Jungbluth, redessinée en remontant aux Tableaux de nombres contenus dans son travail.

La coordination des têtes et des queues de Jungbluth est donc formellement en contradiction avec celle de King. En outre, chez Jungbluth les bandes complètes de King chevauchant (fig. 1) les unes sur les autres, sont remplacées par des bandes s'emboîtant (fig. 2) les unes dans les autres.

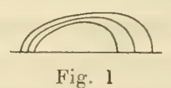


Fig. 1

Jungbluth qui signale expressément cette circonstance, ne craint pas d'ajouter que, rapprochée des relations numériques de King, elle apporte aux idées de ce dernier une nouvelle confirmation.

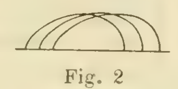


Fig. 2

Pour rechercher quelle est exactement la portée des expériences de Jungbluth. j'ai marqué dans le dessin (fig. 3) les points observés. La partie expérimentale, représentée en traits pleins, se termine pour les quatres bandes, en *a, b, c, d.* Pour

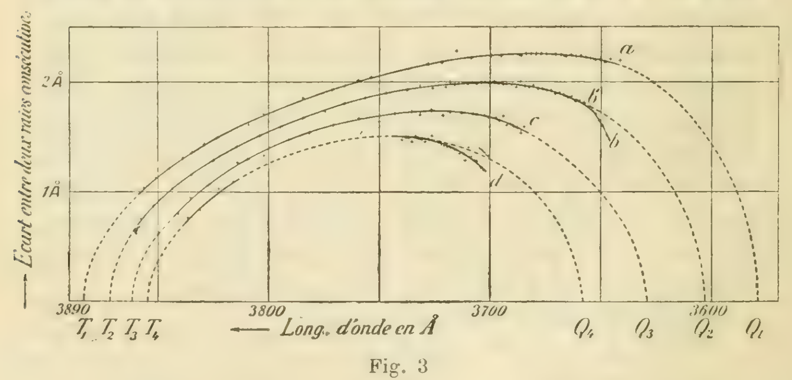


Fig. 3

deux des bandes, en *b* et en *d,* elle s'écarte de la partie extrapolée par Jungbluth, représentée en pointillé, par une plus grande courbure, semblant donner raison à l'idée de Ritz, et rendant impossible l'attribution des queues faites par Jungbluth.

Mais si l'on compare les expériences de Jungbluth à celle de Kayser et Runge, la concordance qui est bonne jusqu'en b' cesse. On se rend compte facilement que Jungbluth a, en b', passé par inadvertance à des raies d'une bande voisine placée par rapport à celles de la bande suivie jusque-là à peu près comme les traits d'un vernier par rapport à ceux de l'échelle principale. D'ailleurs, Jungbluth supprime dans son graphique la portion $b'b$. En définitive, sur les quatre bandes, la corrélation entre les têtes et les queues est admissible à la rigueur pour deux d'entre elles (T_2 — Q_2 ; T_3 — Q_3).

L'idée de Ritz sur la nature non régulière de la fonction pour les raies d'ordre élevé, qui repose sur la brusquerie du coude en b', a donc en partie comme origine une erreur de Jungbluth,

Il semble qu'à la suite du travail de Jungbluth, la conviction que l'hypothèse de Thiele est exacte se soit généralisée. En 1905, A. Hagenbach[1] l'exprime dans une monographie sur les spectres de bandes. On n'a pas remarqué qu'en réalité les *conclusions* de Jungbluth à la fin de son travail sont beaucoup moins affirmatives que ses *courbes*.

On trouve encore dans les Notes de Ritz l'indication suivante :

« Les queues de King, en particulier à 3603, sont impossibles, parce qu'elles sont composées de raies relativement intenses avec des *différences* presque *constantes*, tandis que les différences devraient croître très rapidement comme à la tête de la bande ».

Cette remarque est très probablement suggérée par l'examen de la planche de Kayser et Runge[2] sur laquelle il est aisé de reconnaître l'aspect décrit par Ritz. On peut y évaluer la distance des raies à 0,5 Å environ, ce qui porte l'arc de courbe correspondant bien en dehors des limites de la figure. Le même aspect est visible sur la planche de Jungbluth *(loc. cit)*.

Cet argument semble définitivement détruire ce qu'il reste de probabilité aux attributions faites par Jungbluth. Nous avons

[1] A. Hagenbach, *Wullner Festschrift*, 1905, p. 133.

[2] *Akad. Berlin. Phys. Abh. nicht zur Akad. gehör. Gelerther*, t. 1889, p. 44.

déjà fait justice incidemment de l'argument que Jungbluth tire de ce que les *longueurs* des bandes varient en progression arithmétique. Mentionnons que, par contre, Ritz note avec soin, comme un fait important, la progression arithmétique, signalée par Jungbluth, des écartements maxima des raies des quatre bandes (2,25; 2,00; 1,75; 1,5 Å). Ce fait conserve sa valeur indépendamment de toute hypothèse sur l'existense d'une seule ou de deux têtes.

On peut donc conclure de la manière suivante : L'hypothèse de Thiele est appuyée par :

1° L'existence de têtes dirigées dans les deux sens;

2° L'existence d'un maximum dans l'écartement des raies.

Mais la démonstration de cette hypothèse n'a pu être continuée jusqu'à présent, ni par la possibilité de coordonner sans équivoque les têtes et les queues, ni par la poursuite de la décroissance de la distance des raies dans un intervalle assez étendu au delà du maximum. L'écartement des raies dans le voisinage de la queue 3603 y contredit formellement.

L'idée de Ritz n'est pas en contradiction avec les faits. Mais les indications en sa faveur, qui restent dans les quatre bandes du cyanogène, sont un peu diminuées après suppression de la partie fautive *b'b* de Jungbluth.

Il y aurait grand intérêt à faire de nouvelles déterminations sur des bandes composées d'un grand nombre de raies et, peut-être, à la reprise de la discussion des données déjà connues.

SUR LES TRAJECTOIRES

DES CORPUSCULES ÉLECTRISÉS DANS L'ESPACE

sous l'action du magnétisme terrestre

avec application aux aurores boréales, etc.

(Second mémoire [1])

PAR

Carl STÖRMER

(Suite [2])

---

19. *Explication de la situation de la zone de fréquence maximum des aurores boréales par l'action du champ magnétique extérieur.*

Comme première application des résultats du paragraphe précédent, nous allons considérer l'action de l'anneau sur la zone de fréquence maximum des aurores boréales.

On se rappelle que, d'après la théorie d'un aimant élémentaire seul, et même avec la théorie de Gauss, pour le magnétisme terrestre, le rayon angulaire de la zone théorique était beaucoup plus petite que le rayon de la zone véritable, si l'on partait des valeurs de $H_0\rho_0$ du même ordre que pour les rayons

[1] Pour le premier mémoire, voir *Arch. des Sc. phys. et nat.*, Genève, 1907, t. XXIV, p. 5, 113, 221, 317.

[2] Voir *Archives,* août 1911, p. 177, septembre, p. 190, octobre, p. 277, novembre, p. 415.

β du radium ; en effet, le rayon angulaire θ du bord extérieur de la zone était donné par la formule

$$\sin \theta = \sqrt{2\Delta \sqrt{\frac{H_0\varrho_0}{M}}}$$

d'où l'on tire

$$H_0\varrho_0 = \frac{M}{4\Delta^2} \sin^4 \theta$$

ce qui donne[1], avec $\Delta = 6{,}5.10^8$, en nombres ronds :

θ	$H_0\varrho_0$	θ	$H_0\varrho_0$	θ	$H_0\varrho_0$	θ	$H_0\varrho_0$
1	5	11	66 800	21	832 000	31	3 550 000
2	75	12	94 200	22	993 000	32	3 980 000
3	377	13	129 000	23	1 180 000	33	4 440 000
4	1 190	14	173 000	24	1 380 000	34	4 930 000
5	2 900	15	226 000	25	1 610 000	35	5 460 000
6	6 010	16	291 000	26	1 860 000	36	6 020 000
7	11 100	17	368 000	27	2 180 000	37	6 610 000
8	18 800	18	460 000	28	2 450 000	38	7 240 000
9	30 200	19	566 000	29	2 790 000	39	7 910 000
10	45 800	20	690 000	30	3 150 000	40	8 680 000

En regardant la figure 23, on voit les bords correspondant à

$$\theta = 20°\ 25°,\ 30°,\ 35° \text{ et } 40°$$

et avec centre sur l'axe magnétique (à l'époque de 1910) ; la zone de fréquence maximum correspond comme on le voit, à des valeurs de $H_0\rho_0$ d'un ordre de grandeur égal à un million, résultat déjà mentionné par M. Lenard[2].

Les circonstances sont tout autres, si l'on admet un champ magnétique extérieur dû à un courant corpusculaire dans le plan magnétique équatorial de la terre.

En effet, à l'aide des figures de la planche I, on tire les résultats représentés sur les tables suivantes ; ici, nous le rappelons, les lettres ont les significations que voici :

$H_1\rho_1$ est le produit caractéristique $\left(= \frac{m}{e} v\right)$ des corpuscules formant l'anneau ;

[1] Voir aussi ma note dans les *Comptes rendus* du 24 octobre 1911. Δ étant dans cette note choisi égal à 7.10^8, cela donne une petite différence entre les valeurs de $H_0\varrho_0$ citées dans cette note et celles données ici.

[2] Voir les remarques dans l'introduction.

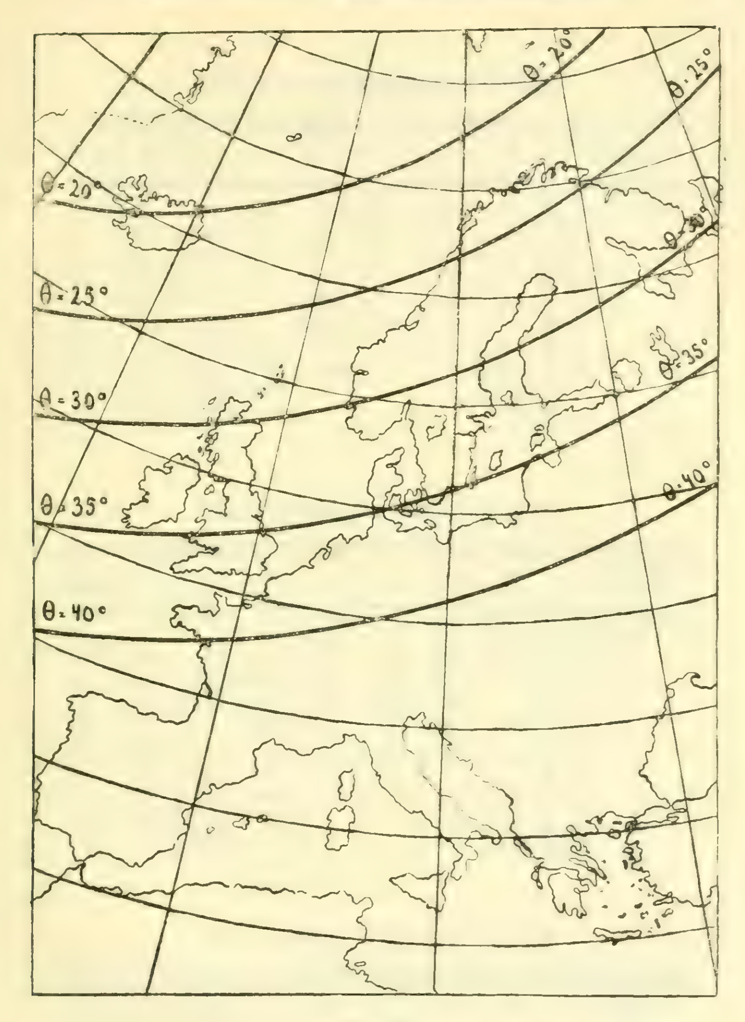


Fig. 23

$H_0\rho_0$ celui des corpuscules causant l'aurore et se mouvant sous l'action du magnétisme terrestre et de l'anneau ;

H l'action magnétique en unités γ due à l'anneau et observée sur la surface de la terre ;

θ, comme auparavant, le rayon angulaire du bord extérieur de la zone des aurores boréales.

Table des valeurs de H pour $\theta = 19°$

$\log H_0\varrho_0 =$	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
$\log H_1\varrho_1 = 2$	11	11	11	11	11	10	9	4
2.5	11	11	11	11	11	10	9	4
3	11	11	11	11	11	10	9	4
3.5		11	11	11	11	10	9	4
4	120	39	12	11	11		9	4
4.5		210	68	22		10		4
5				120	38	12	9	4
5.5				660	210	65	18	4
6					1200	380	100	16
6.5						2200	590	95

Table des valeurs de H pour $\theta = 20°$

$\log H_0\varrho_0 =$	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
$\log H_1\varrho_1 = 2$	15	15	15	14	14	14	12	7
2.5	15	15	15	14	14	14	12	9
3	15	15	15	14	14	14	12	8
3.5		15	15	14	14	14	12	7
4	150	48	15	14	14		12	9
4.5		260	83	27		14	12	9
5				150	46	14	12	7
5.5				830	260	80	23	7
6					1500	470	130	30
6.5						2600	880	140

Table des valeurs de H pour $\theta = 21°$

$\log H_0\varrho_0 =$	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
$\log H_1\varrho_1 = 2$	19	19	19	19	19	19	17	11
2.5	19	19	19	19	19	18	17	11
3	19	19	19	19	19	19	17	12
3.5		19	19	19	19	19	17	11
4	170	56	19	19	19		17	11
4.5		320	100	32		18		11
5				180	56	18	17	11
5.5				980	320	100	29	11
6					1800	560	160	34
6.5						3200	910	200

Table des valeurs de H pour $\theta = 22°$

$\log H_0\varrho_0 =$	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5
$\log H_1\varrho_1 = 2$	26	26	26	26	25	24	22	17
2.5	25	25	25	25	25	24	22	17
3	25	25	25	25	25	25	23	17
3.5		25	25	25	25	25	23	17
4	210	66	26	26	26	24	22	16
4.5		380	120	38		24		17
5				210	68	24	22	16
5.5				1200	380	120	36	16
6					2100	680	190	45
6.5						3800	1100	260

Table des valeurs de H pour $\theta = 23°$

$\log H_0\varrho_0 =$	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
$\log H_1\varrho_1 = 2$	33	33	33	33	33	32	30	23	4
2.5	32	32	32	32	32	31	29	23	4
3	32	32	32	32	32	32	30	23	4
3.5		32	32	32	32	32	30	23	4
4		79	32	32	32		30	23	4
4.5		460	140	46		32		23	4
5				250	79	32	30	22	4
5.5				1400	450	140	43	22	4
6					2600	790	230	58	3
6.5						4400	1300	340	21

Table des valeurs de H pour $\theta = 24°$

$\log H_0\varrho_0 =$	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
$\log H_1\varrho_1 = 2$	42	42	42	42	41	40	37	30	9
2.5	41	41	41	41	41	40	37	32	9
3	41	41	41	41	41	41	39	31	10
3.5		41	41	41	41	41	38	32	10
4		93	42	42	42		38	32	10
4.5		520	160	52		40		31	10
5				300	90	40	37	30	10
5.5				1700	540	170	52	31	9
6						1900	280	72	7
6.5						5200	1600	420	43

Table des valeurs de H pour $\theta = 25°$

$\log H_0\varrho_0 =$	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
$\log H_1\varrho_1 = 2$	51	51	51	51	51	50	48	40	17
2.5	51	51	51	51	51	50	47	42	17
3	51	51	51	51	51	50	49	41	18
3.5		51	51	51	50	50	49	42	18
4		110	51	51	51	50	48	41	18
4.5		620	190	71		50	48	41	17
5				350	110	50	48	41	18
5.5				2000	630	200	60	41	17.
6						1100	330	87	14
6.5						6200	1900	510	69

On voit ainsi confirmé ce que nous avons dit dans le § 6 : *que l'hypothèse d'un anneau de corpuscules assez permanent dans le plan magnétique équatorial de la terre suffit pour expliquer la situation véritable de la zone de fréquence maximum des aurores boréales, même en admettant que les corpuscules formant les aurores ne sont pas moins déviables par le magnétisme que les rayons β de radium.*

En effet, l'ordre de grandeur de l'action observée sur la terre n'est que 20-50 γ, ce qui est tout à fait insignifiant par rapport au champ terrestre, qui est de l'ordre de 30 000 à 70 000 γ.

Il est intéressant de remarquer que cet ordre de grandeur est à peu près le même que celui de *la variation diurne* du magnétisme terrestre[1] ; aussi cette variation est-elle généralement attribuée aux causes extérieures.

Comme on le voit les résultats obtenus ne suffisent pas pour fixer les valeurs de $H_1\rho_1$ et $H_0\rho_0$, c'est-à-dire pour fixer la nature des corpuscules formant l'anneau et les aurores.

Il y a là toute une série de systèmes à choisir.

Mais cette circonstance même semble contribuer à l'explication d'un fait bien connu : *c'est que, dans la zone de fréquence maximum, il y a probablement des aurores qui diffèrent extrêmement*

[1] Voir par ex. Bidlingmaier : *Ergebnisse der magnetischen Beobachtungen im Jahr 1910,* Heft 1, p. 29 (Veröffentlichungen des K. Observ. in Wilhelmshafen).

quant à leur nature physique : les unes sont limitées aux régions les plus hautes de l'atmosphère, sont faibles et formées probablement de corpuscules peu pénétrants ; d'autres, au contraire, descendent très bas dans l'atmosphère, sont extrêmement violentes et intenses et doivent probablement être formées des corpuscules très pénétrants, comme le suppose aussi M. Kr. Birkeland[1] ; *il est donc naturel de supposer que les valeurs du produit* $H_0\rho_0$ *varient extrêmement pour ces diverses sortes d'aurores* et, tout de même, elles apparaissent toutes dans la zone de fréquence maximum, correspondante à θ = environ 23°.

Ce fait est inexplicable dans l'ancienne théorie d'un aimant élémentaire, même en admettant des corpuscules de charges positives.

Mais, avec l'hypothèse d'un anneau extérieur, la difficulté disparait ; en effet, il suffit de regarder les figures de la planche I pour voir *comment cet anneau tend à faire coïncider les valeurs* θ *de différentes sortes de corpuscules auroraux à mesure que l'intensité du courant augmente;* c'est-à-dire que les frontières extérieures des zones d'aurore correspondantes se rapprochent d'une frontière commune et indépendante de $H_0\rho_0$ et ne dépendant que du courant et cela même dans un espace de variation de $H_0\rho_0$ plus grand que 1 : 1000.

20. *Sur les aurores se montrant aux latitudes moyennes et les orages magnétiques qui les accompagnent.*

Comme deuxième application des résultats théoriques, nous allons considérer l'action H de l'anneau pour des valeurs plus grandes de θ

$$\theta = 30°, \quad 35°, \quad 40° \text{ par ex.}$$

c'est-à-dire dans l'hypothèse où le bord extérieur de la zone d'aurore est situé à des distances angulaires de 30, 35 et 40 degrés de l'axe magnétique. On voit ces bords respectifs sur la figure 23.

[1] Voir l'introduction.

Dans l'ancienne hypothèse, sans anneau, les valeurs de $H_0\rho_0$ correspondantes sont

$$3{,}15.10^6, \quad 5{,}46.10^6 \quad \text{et} \quad 8{,}68.10^6$$

valeurs énormes qui devraient entraîner une pénétrabilité correspondante beaucoup plus grande que pour les aurores de la zone de fréquence maximum. Mais, d'après les observations, il est bien connu que les aurores dans les latitudes moyennes sont généralement à une altitude plus grande que les aurores de la ceinture de fréquence maximum, ce qui indique une pénétrabilité moindre.

Ce désaccord disparait, si *l'on admet que les aurores sont tirées vers les latitudes méridionales par un puissant champ magnétique extérieur;* aussi ces aurores sont-elles généralement accompagnées d'orages magnétiques plus ou moins violents et dont la cause est précisément à chercher dans l'espace extérieur à la terre.

Cherchons quelles sont les valeurs de H en question ; on trouve :

Table des valeurs de H pour $\theta = 30°$

$\log H_0\varrho_0 =$	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
$\log H_1\varrho_1 = 2$	140	140	140	140	140	130	130	120	93
2.5	140	140	140	140	140	130	130	120	91
3	140	140	140	140	140	140	130	120	93
3.5		140	140	140	140	140	130	120	95
4		210	140	140	140	140	130	120	93
4.5		1200	370	140	140	140	130	120	93
5				680	220	140	130	120	93
5.5					1200	380	130	120	91
6						2100	680	190	90
6.5						12000	3800	1100	260

Table des valeurs de H pour $\theta = 35°$

$\log H_0\varrho_0 =$	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5
$\log H_1\varrho_1 = 2$	320	320	320	320	320	320	320	300	250	120
2.5	320	320	320	320	320	320	320	300	260	120
3	320	320	320	320	320	320	310	300	260	120
3.5		320	320	320	320	320	310	300	260	120
4			320	320	320	320	310	300	260	120
4.5			660	320	320	320	310	300	260	120
5					370	320	310	300	260	120
5.5					2100	660	320	300	260	120
6							1100	340	250	
6.5							6800	2000	550	110

Pour les valeurs plus grandes de θ, les planches n'admettent pas de tables aussi complètes ; cependant lorsque $H_0\rho_0$ et $H_1\rho_1$ ne sont pas trop différents, on trouve

θ	H
40°	660 γ
45°	1200 γ
50°	1900 γ
55°	2900 γ

Donc, si les aurores se montrent si loin de l'axe magnétique, l'action H sera du même ordre que celui des orages magnétiques[1]. Comme, d'autre part, le système corpusculaire extérieur consistera probablement aussi en d'autres parties plus proches de la terre que ne l'est l'anneau, il y a lieu d'attendre que ces parties aient une action magnétique prépondérante qui dissimulera et troublera l'action H.

On voit ainsi que les aurores méridionales doivent toujours être accompagnées d'orages magnétiques.

Faisons enfin cette remarque, que le mouvement des arcs auroraux normaux à leurs directions sera peut être aussi causé par l'action d'un champ magnétique extérieur. Pour en décider il fallait cependant faire une comparaison détaillée des variations simultanées de l'aurore et du magnétisme terrestre dans chaque cas particulier.

[1] Voir Bidlingmaier, *l. c.*

(A suivre)

COMPTE RENDU DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ DE CHIMIE DE GENÈVE

Séance du 11 mai 1911

A. Pictet et Th. Spengler. Nouveau mode de formation des bases isoquinoliques tétrahydrogénées.

M. le prof. A. Pictet rend compte d'un travail qu'il a fait avec la collaboration de M. Th. Spengler sur la condensation du *méthylal* avec certaines bases aromatiques. Lorsqu'on fait agir le méthylal, à la température du bain-marie, sur une solution de *phényléthylamine* dans l'acide chlorhydrique concentré, il se forme, avec un rendement très satisfaisant, le chlorhydrate de *tétrahydro-isoquinoline*. Il est probable que le méthylal est tout d'abord transformé, par saponification, en glycol méthylénique, $CH_2(OH)_2$, qui se condense immédiatement avec la phényléthylamine selon l'équation suivante :

CH_2 — CH_2 — NH_2 + $CH_2(OH)_2$ = CH_2 — CH_2 — NH — CH_2 + $2H_2O$

Les dérivés carboxylés de la phényléthylamine réagissent de la même manière avec le méthylal ; la *phénylalanine* (I) fournit l'acide *tétrahydro-isoquinoline-3-carbonique* II (paillettes nacrées fusibles à 311°), et la *tyrosine* (III) donne l'acide *7-oxy-tétrahydro-isoquinoline-3-carbonique* IV (point de fusion 336-338°).

CH_2 — $CH-COOH$ — NH_2 → CH_2 — $CH-COOH$ — NH — CH_2

I II

CH_2 / CH—COOH / HO / NH_2 → CH_2 / CH—COOH / HO / NH / CH_2

III IV

M. Pictet estime que ces faits fournissent une bonne explication de la formation des alcaloïdes isoquinoliques dans les plantes. Les tissus végétaux renferment, en effet, de la phénylalanine, de la tyrosine, ainsi que d'autres acides aromatiques aminés, provenant de la décomposition des albumines. Il y a, d'autre part, dans les parties vertes, production continuelle d'aldéhyde formique (ou de son hydrate, le glycol méthylénique). Il semble donc naturel d'admettre qu'une condensation puisse s'effectuer entre ces subtances, par un mécanisme semblable à celui qui a été réalisé in vitro. Il se formerait ainsi des composés isoquinoliques relativement simples, qui, en se compliquant ensuite par de nouvelles condensations, engendreraient les divers alcaloïdes de l'opium, de la corydale, de l'hydrastis canadensis, etc.

Séance du 8 juin

L. Duparc et H.-C. Holtz. Minerais de platine de l'Oural. — A. Bach et B. Sbarsky. Influence des acides sur la phénolase. — A. Gams et A. Pictet. Alcaloïdes de la corydale. Essai de synthèse de la berbérine. — D. Maron et D. Salzberg. Constitution du nitro-α-m-diméthyl-benzimidazol.

M. H.-C. Holtz présente, au nom de M. le prof. Duparc et au sien, un travail sur la composition de quelques *minerais de platine* provenant des gisements dunitiques et pyroxénitiques de l'Oural. Les auteurs, après avoir contrôlé les diverses méthodes analytiques déja connues, se sont arrêtés à la suivante :

Le minerai est traité par l'eau régale, la partie insoluble séparée par filtration et le liquide évaporé à sec. Le résidu est séché à 130°, puis dissous dans l'eau. Dans cette solution on précipite le platine par le chlorure d'ammonium et on réduit le filtrat par le zinc en présence d'acide chlorhydrique. Le fer reste dans la solution, l'iridium, le rhodium, le palladium et le cuivre se déposent. On traite leur mélange par l'acide nitrique, qui dissout le cuivre et le palladium. Les deux autres métaux sont réunis au platine déja isolé et le tout est fondu avec un excès de plomb. Cet alliage est traité de nouveau par l'acide nitrique pour éliminer le plomb, puis on chauffe avec de l'acide sulfurique pour dissoudre le

rhodium. Le résidu ne renferme plus que le platine et l'iridium ; on les sépare par l'eau régale, qui n'attaque que le platine.

Des résultats de leurs analyses, les auteurs tirent les conclusions suivantes :

1. Dans un seul et même gisement primaire, la composition du platine peut varier dans des limites assez étendues.

2. Les platines contenus dans la dunite de deux centres platinifères voisins ne sont pas analogues.

3. Si l'on compare entre elles les moyennes des analyses des platines provenant de différents gisements dunitiques primaires, il semble qu'à chaque gisement correspond un platine déterminé et caractéristique.

4. Les platines qui proviennent des pyroxénites ont une composition plus uniforme ; ils se distinguent par une teneur très élevée (jusqu'à 89 $^0/_0$) en platine, et une grande pauvreté (0,3 $^0/_0$) en osmiridium.

M. A. Bach a étudié, avec M. B. Sbarsky, *l'influence des acides sur la phénolase*. Contrairement aux résultats obtenus par Bertrand avec la laccase, la phénolase retirée de certains champignons (*Lactarius vellereus*) s'est montrée relativement peu sensible aux acides. La présence de petites quantités d'acide sulfurique agit même favorablement sur l'oxydation du pyrogallol par la phénolase. Pour arrêter l'action de 0,02 gr. de phénolase sur 0,2 gr. de pyrogallol dissous dans 30 cm^3 d'eau, il a fallu 0,134 gr. d'acide sulfurique. Les doses mortelles d'acide croissent beaucoup plus lentement que les concentrations du ferment (16,7 mg d'acide sulfurique pour 0,5 mg de phénolase, 152 mg d'acide pour 30 mg de phénolase). Comme l'action de la phénolase croît également plus lentement que sa concentration, il en résulte que les doses mortelles d'acide ne sont pas proportionnelles aux quantités absolues du ferment, mais bien à son activité dans chaque état de concentration. Ces doses mortelles dépendent aussi de la nature du phénol soumis à l'oxydation. Pour paralyser complètement 0,02 gr. de phénolase dissous dans 30 cm^3 d'eau, il a fallu

0,098 gr.	d'acide sulfurique avec	l'hydroquinone
0,134 gr.	»	le pyrogallol
0,245 gr.	»	le gaiacol

Cet ordre est aussi celui dans lequel se rangent ces mêmes phénols quant à l'activité de la phénolase à leur égard. M. Bach démontre comme quoi ces faits sont en contradiction avec la théorie de Bertrand sur la nature des ferments oxydants.

M. A. Gams donne un aperçu de l'état actuel de nos connaissances sur les *alcaloïdes de la corydale*. Il indique les formules de constitution qui leur ont été attribuées par Gadamer et les relations étroites qu'elles présentent avec celles de la berbérine, de l'apomorphine et de la laudanosine.

Il communique ensuite les premiers résultats d'essais qu'il a entrepris avec M. le prof. Pictet en vue de la synthèse de la *berbérine*. Les auteurs ont opéré les deux réactions suivantes :

1. Condensation de l'homopipéronylamine avec le chlorure homovératrique :

CH_2 CH_2
$CH_2{<}^{O}_{O}$ CH_2 $CH_2{<}^{O}_{O}$ CH_2
NH_2 NH
COCl → CO
CH_2 CH_2
OCH_3 OCH_3
OCH_3 OCH_3

2. Traitement du produit par l'anhydride phosphorique en solution xylénique bouillante ; il y a alors cyclisation avec élimination d'une molécule d'eau et formation de la base

CH_2
$CH_2{<}^{O}_{O}$ CH_2
N
C
CH_2
OCH_3
OCH_3

Cette base a la même composition que la *nandinine*, alcaloïde découvert en 1885 par J.-F. Eykman dans le *Nandina domestica*, où il se trouve à côté de la berbérine. Les deux corps ne sont cependant pas identiques, ainsi qu'il résulte de la comparaison de la base ci-dessus avec un échantillon de nandinine, obligeamment fourni par M. le prof. Eykman.

Les auteurs espèrent obtenir la tétrahydroberbérine en rédui-

sant cette base et en la condensant avec le méthylal, selon le procédé décrit dans la précédente séance.

M. D. Maron parle de la *constitution du nitro-α-m-diméthyl-benzimidazol*, qu'il a établie comme suit, en collaboration avec M. D. Salzberg.

Trois formules sont en présence :

CH_3, NO_2, N, $NH - C - CH_3$ — CH_3, NO_2, N, $NH - C - CH_3$ — CH_3, NO_2, N, $NH - C - CH_3$

Les observations suivantes décident en faveur de la première :

Le composé donne par réduction une amine (point de fusion 85°) dont le dérivé acétylé fond à 263-264°.

En nitrant la diacétyl-*m*-toluylène-diamine, en réduisant le produit et en le déshydratant par la chaleur, on obtient un dérivé acétylé identique au précédent.

La 3-nitro-*p*-acétyltoluidine est réduite, et le produit successivement acétylé, nitré et réduit ; on obtient ainsi le corps

CH_3, NH_2, $NHCOCH_3$, $NHCOCH_3$

Sous l'influence de l'acide nitreux, ce corps ne fournit pas d'azimide, mais un diazoïque ; il donne par acétylation le même dérivé triacétylé que l'on peut préparer à l'aide de la nitro-diacétyl-*m*-toluylène-diamine.

Séance du 29 juin

A. Pictet et L. Ramseyer. Sur un hydrocarbure retiré de la houille. — H. Golblum et L. Lew. Réaction entre les acides iodhydrique et chromique. — F. Reverdin et F. Liebl. Méthylnitramines des phénétidines.

M. le prof. A. Pictet rend compte de recherches qu'il a faites avec M. L. Ramseyer dans le but de retirer de la *houille* des composés définis et d'établir leur nature chimique. Deux méthodes

ont été employées : l'extraction par les dissolvants organiques et la distillation sous pression réduite.

En traitant 200 k. de houille pulvérisée (provenant de Montrambert, Loire) par le benzène bouillant, on a obtenu environ 300 gr. d'un liquide brun foncé, qui a été fractionné sous une pression de 10 mm. L'analyse des différentes fractions (passant entre 110 et 265°) a montré qu'elles possèdent toutes une composition identique, répondant à la formule brute $C_{13}H_{16}$. La détermination des poids moléculaires indique que la fraction la plus basse a cette même formule simple, mais le poids moléculaire s'élève graduellement dans les fractions suivantes pour devenir à peu près double dans la fraction la plus élevée. On a donc affaire à un mélange de l'hydrocarbure $C_{13}H_{16}$ et de son dimère $C_{26}H_{32}$, mélange qu'il est impossible de séparer par distillation fractionnée, car la polymérisation se poursuit sous l'action de la chaleur, et à chaque opération les fractions supérieures s'enrichissent aux dépens des inférieures.

Seule la fraction inférieure a été soumise à une étude plus approfondie. Elle est constituée par un liquide incolore, doué d'une odeur agréable de terpène et d'une belle fluorescence violette. Sa densité est 0,920 à 20° et son point d'ébullition voisin de 250° à la pression ordinaire. La constitution de l'hydrocarbure résulte des faits suivants :

Distillé dans un tube chauffé au rouge, il perd de l'hydrogène et se transforme en *fluorène*. Traité à froid par le brome, il dégage de l'acide bromhydrique et fournit les *mono-* et *di-bromofluorènes* déja connus. Il constitue donc un *hexahydrofluorène*.

Oxydé par le permanganate, il donne les acides adipique, acétique et oxalique, mais aucun acide aromatique. Traité par l'acide nitrique concentré, il se convertit en *dinitro-tétrahydro-fluorénone*. Cela montre que des 6 atomes d'hydrogène d'addition de l'hexahydro-fluorène, 4 se trouvent dans l'un des noyaux benzéniques et 2 dans l'autre. La formule la plus probable est la suivante :

```
        CH2            CH
   H2C /   \ C ———— C /  \\ CH
      |      ||      ||    |
   H2C \   / C \  / C \  / CH2
        CH2     CH2    CH2
```

La distillation de la même houille sous pression réduite (10 mm.) et à une température inférieure à 450° a fourni également, mais avec un rendement beaucoup plus élevé (3,5 %), un mélange d'hydrocarbures liquides. Parmi ceux-ci se trouve le même hexahydrofluorène ; les autres n'ont pas encore été caractérisés, mais

il est probable qu'ils appartiennent aussi à la série hydro-aromatique, car aucun d'eux ne donne d'acide aromatique par oxydation.

Il résulte de ces premiers essais que la houille renferme des hydrocarbures hydro-aromatiques plus ou moins polymérisés. Ceux-ci perdent, à haute température, une partie de leur hydrogène en se transformant en hydrocarbures aromatiques. Cette réaction joue donc un rôle dans la formation des carbures du goudron et de l'hydrogène du gaz d'éclairage.

M. H. Golblum a cherché, avec Mme L. Lew, à déterminer l'ordre de la réaction qui s'effectue en solution aqueuse entre les *acides iodhydrique et chromique.* On peut l'exprimer par l'équation :

$$Cr_2O_7'' + 6\,I' + 14\,H^{\cdot} = 2\,Cr^{\cdot\cdot\cdot} + 7\,H_2O + 3\,I_2$$

(Si l'on donne, avec Abegg et Cox, à l'acide chromique la formule H_2CrO_4 et non $H_2Cr_2O_7$, cette équation doit être modifiée en conséquence). Dans cette interprétation, l'ordre de la réaction, au sens donné par van't Hoff, serait extrêmement élevé. Les auteurs pensent qu'on peut en concevoir plus simplement le mécanisme, en admettant que la solution aqueuse d'acide chromique renferme une certaine quantité de molécules complètement hydratées $Cr(OH)_6$, qui seraient dissociées en ions hexavalents Cr et ions hydroxyle. La réaction aurait alors lieu selon l'équation :

$$Cr^{\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot\cdot} + 3\,I' = Cr^{\cdot\cdot\cdot} + 3\,I$$

et serait du quatrième ordre.

Les expériences que M. Golblum et Mme Lew ont faites par les méthodes usitées dans les recherches de cinétique chimique, ont vérifié cette hypothèse. En présence d'acides étrangers, la réaction a lieu conformément à la formule suivante :

$$\frac{dx}{dt} = K(A-x)\,(B-x)^3$$

dans laquelle A représente la concentration initiale de l'acide chromique et B celle de l'acide iodhydrique. La réaction est accélérée catalytiquement par les ions H. En présence de grandes quantités d'acide chlorhydrique déci-normal, son ordre descend à 3.

M. F. Liebl a préparé, en collaboration avec M. F. Reverdin, les *méthylnitramines de l'o- et de la p-phénétidine*, et constaté qu'en faisant agir sur elles l'acide sulfurique, on obtient entre

autres les *nitrosamines* correspondantes. Les auteurs signalent à cette occasion les dérivés suivants, qui n'avaient pas encore été décrits ou avaient été préparés d'une autre manière :

	OC_2H_5 / $N(CH_3)_2$	OC_2H_5 / NO_2, NO_2 / $NH.CH_3$	OC_2H_5 / NO_2, NO_2 / $N.NO.CH_3$	OC_2H_5 / NO_2, NO_2 / $N.NO_2.CH_3$
Pt de fus.	35°	98°	108°	95°
	OC_2H_5 / $N(CH_3)_2$	OC_2H_5 / $NH.CH_3$ / NO_2, NO_2	OC_2H_5 / $N.NO.CH_3$ / NO_2, NO_2	OC_2H_5 / $N.NO_2.CH_3$ / NO_2, NO_2
Pt d'ébull.	218°	Pt de fus. 178°	71°	79°

A. P.

COMPTE RENDU DES SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE ET D'HISTOIRE NATURELLE DE GENÈVE

Séance du 2 novembre 1911

Amé Pictet et Alphonse Gams. Synthèse de la berbérine.

MM. Amé Pictet et Alphonse Gams. — *Synthèse de la berbérine.*

Nous avons réalisé la synthèse de la berbérine en passant par celle de la *tétrahydroberbérine.*

On sait que la tétrahydroberbérine s'obtient aisément par réduction de la berbérine et qu'elle régénère celle-ci sous l'action des oxydants faibles. Sa constitution, établie par les travaux de Perkin, Gadamer et Faltis, est exprimée par la formule IV ci-après.

Nous avons obtenu ce composé au moyen des quatre réactions suivantes :

1° Condensation de l'homopipéronylamine,

$$CH_2O_2 = C_6H_3 - CH_2 - CH_2 - NH_2,$$

avec le chlorure homovératrique, $(CH_3O)_2 = C_6H_3 - CH_2 - CO\,Cl$, en présence de soude caustique. On obtient l'*homovératroyl-homopipéronyl-amine* (formule I) en longues aiguilles incolores, fusibles à 136°.

2° Déshydratation de ce composé par l'action de l'anhydride phosphorique sur sa solution xylénique bouillante. Il se forme par cyclisation une base isoquinoléique tertiaire et non saturée (point de fusion 68°-70°) dont la constitution répond à la formule II.

3° Réduction de cette base par l'étain et l'acide chlorhydrique. Cette opération donne naissance à la *vératryl-norhydrohydrastinine* (formule III), base secondaire, cristallisant en fines aiguilles incolores et fondant à 208°-210°.

CH_2 CH_2 CH_2 O O NH CO CH_2 OCH_3 OCH_3 — I → CH_2 CH_2 CH_2 O O N C CH_2 OCH_3 OCH_3 — II → CH_2 CH_2 CH_2 O O NH CH CH_2 OCH_3 OCH_3 — III

4° Traitement de la vératryl-norhydrohydrastinine, dissoute dans l'acide chlorhydrique concentré, par le méthylal, à la température du bain-marie :

CH_2 CH_2 CH_2 O O NH HC H_2C OCH_3 OCH_3 $+ CH_2(OCH_3)_2 = CH_2 <$ O O CH_2 CH_2 N HC CH_2 H_2C OCH_3 OCH_3 $+ 2\ CH_3OH$

IV

Le produit de cette dernière réaction s'est montré, de tout point, identique à l'hydroberbérine obtenue par réduction de la berbérine naturelle. Les deux substances, ainsi que leur mélange, fondent à 168° et donnent les mêmes colorations avec l'acide sulfurique concentré (jaune vif) et avec le réactif de Mandelin (brun jaunâtre, virant au bout de quelques minutes au rose). La même identité se remarque entre les sels des deux bases, dont les points de fusion coïncident exactement : chlorhydrate 213°-214°, picrate 192°, iodométhylate 234°-236°, iodéthylate 226°-227°.

La synthèse de la tétrahydroberbérine entraîne celle de la berbérine, la première de ces bases ayant déjà été transformée en la seconde, ainsi que nous l'avons rappelé plus haut, par l'action de divers oxydants. Nous avons néanmoins répété l'opération avec notre produit et obtenu, en le traitant par le brome ou l'acide nitrique, les différents sels de berbérine avec tous les caractères que présentent ceux de l'alcaloïde naturel.

Séance du 16 novembre

A. Sprecher. Recherches sur la variabilité des sexes.

M. Chodat présente au nom de M. le Dr Andreas Sprecher un mémoire intitulé : *Recherches sur la variabilité des sexes chez Cannabis sativa* et *Rumex acetosa*. Il fait précéder l'exposé des résultats obtenus par ce botaniste de quelques remarques sur la question posée. En particulier il montre comment chez les Mucorinées le sexe peut être dissocié de l'hermaphroditisme au cours de l'évolution des espèces homothalliques, tandis que dans les espèces hétérothalliques la sexualité s'affirme dès la formation de la zygote ou à la première apparition d'un sporange.

Partant de la découverte de Blakeslee, M. Chodat a proposé à Mlle Korpatchewska d'étudier la nature de la sexualité dans quelques espèces hétérothalliques. Les recherches physiologiques entreprises à partir de microorganismes satisfont à cette demande qu'on travaille sur un grand nombre de cas pour éliminer les erreurs individuelles. Le résultat de ces recherches étendues c'est que ni par la variation du milieu, ni par l'action de la température, on n'arrive à modifier la sexualité de ces plantes dimorphes à peu près dépourvues de caractères morphologiques sexuels et qui ne diffèrent que par des potentiels physiologiques.

Cependant, selon les milieux, la vigueur de croissance des races + et — diffèrent. Un autre point important c'est que le pouvoir ferment des deux races est différent vis-à-vis des disaccharides (saccharose et maltose). Il y a comme une polarité stéréochimique (voir Korpatchewska, Thèse, 1910).

Dans des recherches de ce genre, on a égalisé toutes les circonstances et le coefficient individuel se perd au milieu de la population comprenant un si grand nombre d'individus que l'on peut bien dire que l'expérience a la rigueur d'une recherche de chimie ou de physique.

Dans les recherches que M. Chodat a fait exécuter dans son laboratoire par Mlle Stefanowska, ou en partie à l'Ecole d'horticulture, par MM. Monnier, Deleano et Rabinowitch et qui ont pour objet l'absorption et la migration des substances minérales dans les végétaux, le même principe a été inauguré à savoir éliminer les variations individuelles en expérimentant sur de grands nombres. Des valeurs obtenues on a pu déduire que le germe agit sur les matières chimiques en présence, comme un catalyseur et que la vitesse de croissance suit la loi des masses.

Le Dr A. Sprecher dans le travail présenté, s'inspire aussi des idées et des résultats de la biométrie contemporaine. Non seulement il cherche à éliminer les facteurs individuels, mais il calcule

chaque fois l'erreur probable, et la compare avec les résultats obtenus, considérant chaque fois comme inutilisables les différences qui n'excèdent pas de beaucoup la valeur de cette dernière.

Deux plantes phanérogances ont été choisies par l'auteur, *Cannabis sativa* et *Rumex acetosa* deux végétaux dioïques.

Toutes ces expériences sont faites sur des grands nombres et chaque catégorie de recherches, en partant de la sélection faite sur les semences (foncées, claires, petites, grosses, nervures, sans nervures). Il critique les résultats déjà acquis à propos de Cannabis et expose les siens. Il n'oublie pas de tenir compte du facteur mortalité. Il voit cependant que dans les expériences de plusieurs années, alors que la mortalité est très variable d'une année à l'autre, les résultats en ce qui concerne le sexe n'oscillent pas sensiblement.

Lorsqu'il s'agit de la proportion des mâles et des femelles, on a affaire à une variation alternative pour laquelle l'indice de variabilité $\sigma = \pm \sqrt{\% \text{ Po} \times \text{Pi}}$. Ici 0 = ♀ et 1 = ♂.

Les fréquences (♀) sont 14789 et (♂) 13260, la somme (n) 28049. Ce qui donne p. $\sigma = \pm$ 49.92 % ♂ ou ♀.

Erreur moyenne est calculée en posant $E = \sigma : \sqrt{n} = \pm 0{,}3$.

La proportion des sexes chez le chanvre comme chez l'oseille est indépendante de la fumure. (Chanvre ♂ 47.27 % ♀, 52.72 % soit 100 ♂ et 112 ♀) indépendante de la précocité, indépendante de la sélection d'après les caractères indiqués.

Pour le *Rumex acetosa* il en est de même, les variations observées sont toutes trop faibles en comparaison de l'erreur probable. Mais la proportion des mâles et des femelles est tout autre. (Rumex ♂ 29.33 % ♀ 70.67 % soit n = 6049 indiv. — 100 ♂ et 241 ♀ — dans la nature il a constaté 32.81 ♀ ec 67,18 % ♀ soit 100 ♂ et 204 femelles).

Ces recherches, d'une très grande précision, n'ont donc donné aucun résultat en ce qui concerne la détermination du sexe déjà donné dans la graine.

Dans une seconde partie, l'auteur étudie la variabilité comparée des deux sexes selon la méthode de la biométrie.

Dans le chanvre le mâle est plus élancé que la femelle, mais le poids de la femelle l'emporte. (♂ 120 : ♀ 100 ; p. l'homme ♂ 108.07 : ♀ 100 d'après Pearson). Dans le Rumex c'est le contraire (♂ 100 ♀ 122). Chez les deux, l'amplitude de variation est plus grande dans la femelle, de même l'indice de variabilité. La variabilité des uns et des autres se laisse exprimer par une courbe empirique, sensiblement voisine de la courbe binomiale idéale, mais avec une légère asymétrie positive. Nous laissons de côté de nombreuses expériences sur la variabilité en fonction de la fumure. Elle varie beaucoup.

Enfin M. Sprecher examine, au moyen de la méthode cryoscopique, la différence des sucs, exprimé par le Poids moléculaire moyen, la Pression osmotique. Le résultat est que, dans les deux espèces, il y a entre les sucs du mâle et de la femelle, une différence de concentration équivalent à une demi-atmosphère.

Séance du 7 décembre

André Chaix. Géologie du massif des Brasses (Haute-Savoie). — Raoul Gautier. Installations pour utiliser les anciennes séries d'observations de la température à Genève. — De la Rive. Sur la trajectoire circulaire de l'électron autour de la molécule dans un champ magnétique uniforme.

M. André Chaix rend compte d'une étude détaillée qu'il a faite de la *géologie de la chaîne des Brassès.*

Cette chaîne, située au S.E. des Voirons et au N. du Môle, fait partie du bord frontal des Préalpes médianes et chevauche sur la nappe des Préalpes externes, représentées ici par l'énorme masse de Flysch des Voirons et du Mont Vouan ; elle représente le prolongement direct du Môle, dont l'étude a été magistralement faite par Marcel Bertrand.

La zone des Brasses et du Môle a été énergiquement plissée ; la structure a été en outre compliquée par l'incurvation assez brusque qu'y ont subie tous les plis, dirigés d'abord S.E.-N.W. au Môle, puis S.-N. aux Brasses, et finalement S.W.-N.E. entre Mégevette et Pérignier. Cette incurvation a eu ici pour conséquence moins un étirement des éléments externes, comme on le constate fréquemment ailleurs, qu'une compression des plis internes, qui ont ainsi formé des ensellements transversaux, en particulier à S[t]-Jeoire, à Onion et à Mégevette, et qui ont subi des modifications brusques dans leur forme et leur ampleur.

La série stratigraphique des Brasses débute par les cornieules et les calcaires dolomitiques du Trias. Le Jurassique comprend, à sa base, des dépôts infraliasiques intéressants, qui n'avaient pas encore été décrits ; ce sont, de bas en haut : des bancs de lumachelle dans des schistes noirs (Rhétien) ; puis des calcaires gréseux ou oolithiques ferrugineux, et enfin des calcaires blancs, massifs, semblables au Malm, et qui avaient été confondus avec lui jusqu'ici. L'Infralias supporte deux puissants complexes qui ont été séparés pour la première fois par Marcel Bertrand : le premier est un calcaire échinodermique, dont certaines couches contiennent des fossiles sinémuriens ; le second est un calcaire noirâtre, lité, qui représente probablement une partie du Lias et une partie du Dogger. Puis viennent des marnes schisteuses à

Posidonia alpina, considérées en général comme calloviennes, mais qui doivent, d'après les fossiles qu'elles contiennent, correspondre à la fois au Bathonien et au Callovien. L'Oxfordien comprend les calcaires grumeleux rouges et verts habituels dans cette zone sédimentaire, associés à des marnes rouges ; il supporte la masse homogène des calcaires gris du Malm.

Le Crétacique prend aux Brasses le développement qui lui est habituel dans les plis externes des Préalpes médianes, mais le Néocomien y montre des variations d'épaisseur très importantes, qui peuvent aller jusqu'à la disparition complète.

Le massif des Brasses est formé de quatre plis principaux, dirigés à peu près S.S.W.-N.N.E.

Le 1er anticlinal (n° 1 du croquis) présente cette particularité que son axe est marqué par une longue zone de Crétacique supérieur, qui a été considérée jusqu'ici comme synclinale. En réalité ce crétacique n'est pas bordé, comme on l'avait cru, par du Malm, mais bien par du Trias et de l'Infralias en série normale. Il doit donc être considéré comme une lame de charriage, sous-jacente à la nappe des Brasses et relevée anticlinalement sous celle-ci.

Le 2e pli (n° 2 du croquis) forme l'arête qui culmine à la Pointe des Brasses et se poursuit jusqu'au col de Chaîne d'Or. Presque vertical, il comprend : au cœur, du Trias, puis les calcaires blancs infraliasiques considérés jusqu'ici comme Malm, et le puissant complexe liasique.

Le 3e pli (n° 3 du croquis) est à peu près semblable et parallèle au précédent, dont il est séparé par le vallon de Vernand ; il disparaît également après le col de Chaîne d'Or (n° 3′ du croquis).

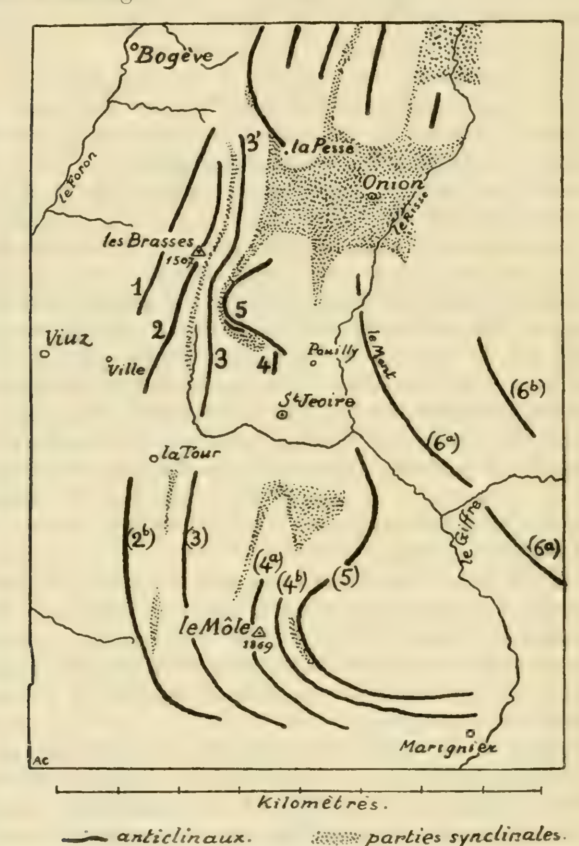
Entre la racine du 5e pli et le précédent s'intercalent, au-dessus de Pouilly, un ou deux plis secondaires écrasés et fortement redressés (n° 4 du croquis).

Le 5e pli (n° 5 du croquis) se distingue des précédents par sa forme chevauchée ; ayant sa racine dans la région de Pouilly, il recouvre en effet le pli 3 jusque près de son axe, et son jambage renversé est supprimé, à la seule exception d'une écaille. Du côté du N. ce pli s'amortit très brusquement vers l'ensellement transversal d'Onion, tandis que dans son prolongement, à la Pesse, renaît tout aussi brusquement un anticlinal chevauchant correspondant.

A l'E. du Risse, un dernier pli forme la montagne du Mont ; il s'enfonce, lui aussi, sous le bassin d'Onion, pour reparaître 2 km. plus loin et élever sa voûte de Malm jusqu'au niveau de 1300 m.

Les éléments tectoniques des Brasses peuvent être raccordés à ceux des régions voisines. Au N. les trois premiers plis disparaissent, tandis que le prolongement du 5e doit être cherché dans

la chaîne de Miribel ; en effet on voit surgir au N. de la Pesse trois zones triasiques chevauchantes, qui ne peuvent correspondre qu'à ce 5e pli et aux plis écrasés sous jacents, sans qu'on puisse préciser davantage.



Raccord entre les Brasses et le Môle.

La partie inférieure du croquis reproduit à peu près la figure que donne M. Marcel Bertrand dans son étude du Môle[1]; les numéros entre parenthèses sont les siens.

Vers le S. les plis des Brasses trouvent leur équivalent dans ceux du Môle. Le pli 1 n'est peut-être pas représenté au Môle. Le pli 2 doit être la continuation du pli Bovère-Ville (2^b) de Marcel Bertrand. Le pli 3 prolonge le pli Riondet-la Tour (3). Le

[1] *Bulletin de la Carte géologique de France,* n° 32, décembre 1892.

5e pli des Brasses correspond, soit par sa forme, soit par sa position, avec le grand pli chevauchant du Môle, et par conséquent les plis écrasés de Pouilly doivent être considérés comme équivalents aux plis 4a et 4b (Champfleury-Pouilly) de Marcel Bertrand. Enfin le pli 6a de M. Bertrand est ininterrompu et peut être suivi jusque dans la gorge du Risse.

M. Raoul Gautier fait une communication sur les mesures qu'il a prises récemment pour *utiliser les anciennes séries d'observations de la température à Genève.*

Il rappelle le beau don fait à l'observatoire par M. William de Luc[1] des registres d'observations de Guillaume-Antoine de Luc, de 1768 à 1800. Afin d'en tirer parti, il fallait pouvoir les raccorder à la série de l'observatoire et, pour cela, déterminer exactement où elles avaient été faites. Grâce à l'aimable collaboration de MM. Benjamin Soullier, propriétaire de l'immeuble n° 19 de la Cité, Isaac Soullier, imprimeur, qui y habite, Archinard, régisseurs, et en consultant les anciens actes relatifs à cette maison et à celles qui sont voisines, il a été possible d'identifier le local où G.-A. de Luc a observé. Comme le dit son fils Jean-André, dans ses registres d'observations faites ultérieurement, « le thermomètre était placé en dehors de la fenêtre d'un grenier, regardant sur les toits des Rues Basses de la ville, élevé d'environ 90 pieds au-dessus du niveau du lac. »

Ce grenier est unique en son genre et a donc pu être identifié au 5me étage de la maison ; il est muni de deux fenêtres et c'est en dehors de l'une d'elles que M. Gautier a fait installer un thermomètre à mercure à grosse boule qui est observé tous les matins à 8 heures de temps local (comme G. A. de Luc en hiver), soit 8 h. 35 m. de temps moyen de l'Europe centrale, par un des employés de M. I. Soullier, M. Louis Galleano, mis obligeamment à la disposition de l'observatoire. Une observation concomitante est faite à l'observatoire par M. F. Münch, concierge, chargé de toutes les observations météorologiques.

En outre, et pour assurer un comparaison plus complète entre le climat de ce haut galetas de la Cité et la station météorologique de l'observatoire, on a installé en avant de la même fenêtre, une cage en bois à jalousies, contenant un thermographe Richard, donné à l'observatoire par M. Lucien Gautier. De cette façon le raccord entre la série de 33 ans des observations de de Luc et la série plus moderne de l'observatoire sera assuré dans la mesure du possible.

[1] *Archives* 1911, t. 32 p. 439.

De 1801 à 1826, époque où commence la série homogène moderne utilisée par Emile Plantamour dans ses belles études sur le « Climat à Genève »[1] il y aurait une lacune. Ne peut-elle être aussi comblée? M. Gautier espère y arriver en utilisant les séries genevoises publiées par la *Bibliothèque britannique* et la *Bibliothèque universelle, Sciences et Arts.*

De 1799 à 1821, les observations météorologiques se faisaient à « l'ancien jardin botanique » situé sur le Cavalier Micheli, qui est devenu plus tard une terrasse attenante, au sud-est, au Palais Eynard. Puis de 1822 à 1825, les observations ont été poursuivies au « nouveau jardin botanique », celui d'Augustin-Pyramus de Candolle, actuellement supprimé.

Avec l'aimable autorisation de M. le Conseiller administratif Imer-Schneider, et grâce à l'obligeance de M. Nitzschner, jardinier-chef de la Ville, et de M. Taponnier, chef de service au laboratoire de sérothérapie au Palais Eynard, les installations nécessaires ont pu être faites. Il s'agissait de reproduire le mieux possible les conditions dans lesquelles les thermomètres étaient placés au commencement du XIXme siècle.

De 1799 à 1821, d'après les indications de Frédéric-Guillaume Maurice[2] « le thermomètre à mercure, à boule isolée, était au nord, adossé à un cabinet de charmille qui le mettait à l'ombre, indépendamment de la présence d'un poteau auquel il était appliqué ». Le « cabinet de charmille » du Cavalier Micheli, qui était jardin botanique vers 1800, a naturellement disparu, et les arbres de la terrasse ont grandi. Pour obtenir une exposition analogue, les thermomètres ont été placés à l'ombre de cadres en bois à jalousies, à l'est, au sud et à l'ouest, mais sans toit.

De 1822 à 1825, les instruments météorologiques étaient contenus dans une « cage à quatre pans, de deux pieds de côté[3]. Chacun de ces côtés était revêtu de lames de verre horizontales, inclinées en façon de jalousie... et rendues opaques par un enduit de peinture blanche à l'huile... sur les faces qui regardent l'est, le midi et l'ouest... » La cage actuelle est en bois, mais elle est aussi semblable que possible à l'ancienne.

Quant à l'exposition, « la cage était voisine d'une allée d'arbres qui la maintenait à l'ombre dans la partie chaude de la journée » ;

[1] *Le climat de Genève*, 1863 et *Nouvelles études sur le climat de Genève*, 1876.

[2] *Bibliothèque britannique, Sciences et Arts*, 1796, t. I, p. 113 et *Bibliothèque universelle, Sciences et Arts*, 1822, t. XIX, p. 64. — De 1796 à 1798, les mêmes instruments météorologiques étaient installés à Genthod.

[3] *Bibliothèque universelle*, 1822, t. XIX, p. 64.

actuellement, elle est aussi située de façon qu'en été elle sera abritée par l'ombre de quelques arbres peu épais. L'emplacement ancien n'est pas connu exactement mais son niveau était en tous cas le même que celui de l'emplacement temporaire actuel.

Aux deux stations sont placés un thermomètre à mercure et un thermomètre à minimum. De plus, deux thermographes Richard sont installés à côté d'eux : au jardin botanique, dans la même cage ; au Cavalier Micheli, dans une cage spéciale placée à l'est des thermomètres ; ceux-ci sont observés régulièrement deux fois par jour, à 8 h. 35 m. du matin et à 2 h. 35 m. de l'après-midi, en temps moyen de l'Europe centrale. Autrefois les observations se faisaient au lever du soleil et à 2 h. après-midi, temps local. Il va de soi qu'une observation concomitante est aussi faite à l'observatoire à 2 h. 35 m. de l'après-midi par le concierge, chargé des observations météorologiques.

Les observateurs sont : au Cavalier Micheli, M. Dettwiler, employé du laboratoire de sérothérapie, et au jardin botanique, M. Leyvraz, jardinier.

Quant aux *instruments :* on ne possède plus aucun de ceux qui ont fonctionné autrefois. Du thermomètre de G.-A. de Luc, on sait qu'il avait été établi par son frère, le célèbre physicien Jean-André de Luc, et on peut croire qu'il était bon.

De celui qui a servi aux observations dirigées par F.-G. Maurice, de 1796 à 1821, à Genthod et à Genève, on sait qu'en 1822 il marquait trop haut de 0,°5 Réaumur. Aussi fut-il remplacé pour la série suivante, de 1822 à 1825, par un thermomètre à alcool, servant aussi de thermomètre à minimum et construit par Gourdon, « célèbre artiste genevois » de l'époque, et qui fut plusieurs fois vérifié dans la glace fondante.

En 1826, la station météorologique de Genève a été transférée dans un emplacement voisin de l'observatoire de Jacques-André Mallet, voisin lui-même de l'observatoire actuel. Cet emplacement[1] était « le parapet d'une contregarde de l'enceinte de la ville, portant la pile centrale du pont de fil de fer construit en 1823 ». Plantamour a utilisé la série de 1826 à 1835 avec la suivante de l'observatoire actuel, où la station a été établie en 1836, parce que l'exposition était presque identique et l'altitude la même. Il a eu raison.

Pour amener une comparaison, au point de vue de la *pluie*, pour la série de 1822 à 1825, un pluviomètre a aussi été installé au jardin botanique, à proximité de la station thermométrique.

Toutes ces observations comparatives seront poursuivies au moins pendant une année.

[1] *Bibliothèque universelle*, *Sciences et Arts*, 1826, t. XXXI, p. 90.

M. L. de la Rive fait une communication sur la *trajectoire circulaire de l'électron autour de la molécule dans un champ magnétique uniforme.*

L'auteur montre analytiquement par une démonstration très simple que la trajectoire circulaire satisfait aux équations du mouvement. Il suffit de remplacer respectivement x et y par r cos at et r sin at dans l'équation

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{\mu x}{r^3} + \frac{e\mathrm{H}v}{m}\frac{dy}{ds}$$

et l'équation analogue en y ; il en résulte pour toutes les deux

$$-a^2 = -\frac{\mu}{r^3} + \frac{e\mathrm{H}a}{m}$$

$$a = -\frac{e\mathrm{H}}{2m} + \sqrt{\frac{\mu}{r^3} + \frac{e^2\mathrm{H}^2}{4m^2}}$$

En l'absence du champ magnétique, la valeur du carré de la vitesse angulaire est μ/r^3, elle est donc diminuée par l'action magnétique, ce qui s'explique comme suit : l'action magnétique s'ajoute à la force centrifuge et puisque la force attractive reste la même, il faut que la force centrifuge diminue, d'où résulte la diminution de la vitesse angulaire.

Depuis sa communication l'auteur a constaté que ce résultat est connu et a été établi par Lorentz dans son explication de l'effet Zeemann.

BULLETIN SCIENTIFIQUE

MATHÉMATIQUES

MM. Heywood et Fréchet. L'équation de Fredholm et ses applications a la Physique mathématique (avec une préface et une note de M. J. Hadamard). Un vol. in-8°, A. Hermann et fils, Paris 1912.

Le traité que nous annonçons est, à notre connaissance, le premier ouvrage de langue française, destiné à initier l'étudiant à la théorie sans doute la plus féconde que les mathématiques aient créée depuis longtemps. C'est, il y a environ dix ans, à propos du célèbre problème de Dirichlet, que s'est présentée pour la première fois la notion d'*équation intégrale*, et l'intervention de plus en plus fréquente de cette notion dans les problèmes de la Physique mathématique permet aujourd'hui d'aborder ceux-ci par une marche à la fois intuitive et générale. La brillante découverte de M. Fredholm inaugure ainsi une ère nouvelle dont il est impossible de prédire dès maintenant l'évolution, mais dont tout fait présager la capitale importance pour le développement futur de la science.

L'enseignement doit favoriser ce mouvement par la diffusion rapide des idées et des découvertes éparses dans les mémoires originaux ; aussi saluons-nous avec joie l'apparition du livre de MM. Heywood et Fréchet, qui contribuera pour sa part à rendre bientôt classique la théorie de Fredholm. Les auteurs ont visé à rester clairs, élémentaires et pratiques, tout en présentant leur sujet d'une manière déjà approfondie. Les applications, toutes très importantes, tiennent la place d'honneur dans leur ouvrage que tout recommande à l'étude attentive des physiciens.

C. C.

PHYSIQUE

O.-C. Chwolson. — Traité de physique. Ouvrage traduit sur les éditions russe et allemande par E. Davaux, 1[re] édit., tome III, 3[me] fascicule, avec 93 figures dans le texte ; et 2[me] édit., tome I, 1[er] vol., 116 p. avec 229 fig. dans le texte. Paris, Librairie scientifique, A. Hermann et fils, 1911, 1912.

Cette édition du traité, désormais classique, du savant pro-

fesseur de l'Université de Pétersbourg, que nous avons déjà à maintes reprises signalée ici, au fur et à mesure qu'en paraissaient les divers fascicules, est la première en français. Elle a été revue et considérablement augmentée par l'auteur. Elle est suivie de notes sur la physique théorique par MM. E. et F. Cosserat. Le troisième fascicule du tome III qui vient de paraître et que nous annonçons aujourd'hui contient les propriétés des vapeurs et l'équilibre des substances en contact.

Le premier chapitre (12e du volume) traite des propriétés des vapeurs saturantes et de l'hygrométrie, des mesures de la tension des vapeurs saturantes, expériences de Regnault, des formules correspondantes, de la tension d'une vapeur saturante en fonction de la courbure de la surface du liquide et des forces extérieures agissant sur cette surface (lord Kelvin), de la densité et du volume spécifique, de la chaleur spécifique des vapeurs saturantes.

Le second chapitre traite des vapeurs non saturantes, de l'état critique, des états correspondants, des réseaux d'Amagat, de l'équation de Van der Waals, des équations de Clausius, de l'état critique, des formules d'Amagat.

Le troisième chapitre contient l'équilibre des substances en contact, la règle des phases, l'étude des solutions.

Aussi bien la réputation de cet ouvrage est faite, nous n'avons pas à le recommander plus longuement ici. Il suffit de signaler l'apparition de ce dernier fascicule qui était comme les précédents impatiemment attendu.

A peine du reste cette première édition était-elle achevée, que l'excellente maison Hermann et fils nous en donne une seconde et nous venons de recevoir le premier volume de cette dernière. Calquée sur la précédente elle s'est enrichie d'un certain nombre de notes théoriques que M. Davaux, le distingué traducteur, MM. E. et F. Cosserat, ses collaborateurs, ont cru devoir ajouter encore, sous leur responsabilité au texte de l'auteur pour rendre plus aisée l'étude des idées nouvelles qui entrent de toutes parts dans la physique. Citons par exemple celle sur les transformations de Voigt et de Lorentz et les premières notions sur la théorie de la relativité. Ces additions augmentent encore notablement la valeur de cette 2me édition.

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

des Travaux de Chimie faits en Suisse

Avril

81. Abelin (Isaak). Ueber einige Derivate des 5-Methoxy-2-Styryl-Cumarons. *Dissert.* Bern (Prof. von Kostanecki).

82. Amann (J.) Ultramikroskopische Beobachtungen. Lausanne. — *Zeitschr. Kolloide* **8.** 197.

83. Baume (Georges) et Pamfil (Georges). Courbes de fusibilité des mélanges gazeux ; combinaisons de l'acide chlorhydrique et de l'anhydride sulfureux avec l'alcool méthylique. Genève. — *Comptes rendus* **152.** 1095.

84. Baumhauer (Heinrich). Leitfaden der Chemie. 4 Aufl. Organische Chemie. Freiburg.

85. Besson (A. A.). Neue Filtriergestelle. Basel. — *Chem.-Zeitung* **35.** 408.

86. Burmann (James). Du titrage physiologique des préparations de digitale d'après la méthode de Focke.— *J. suisse de chimie* **49.** 218. 231.

87. Freedericksz (Wladimir). Sur le rôle physiologique de la catalase. *Thèse.* Genève (Prof. Chodat).

88. Gruner (Paul). Lehrbuch der Radioaktivität. 2. Aufl. Bern.

89. Kahan (Mark). Ueber den Akkrakopal und über den Beninkopal. *Dissert.* Bern (Prof. Tschirch).

90. Kraft (F.). Die Glykoside der Blätter der Digitalis purpurea. Brugg. — *Schweiz. Wochenschr.* **49.** 161. 173. 236.

91. Loewenstein (Robert). Beiträge zur Kenntnis der Vanadylverbindungen. *Dissert.* Bern (Prof. Friedheim).

92. Lunge (Georg). The Manufacture of Sulphuric Acid and Alkali with Collateral Branches. 3rd Ed. (London) Zürich.

93. Luterbacher (Adolphe). Sur une nouvelle méthode d'acylation et une préparation simple des anhydrides d'acides. *Thèse.* Genève (Dr Kaufmann).

94. Natanblut (S.). Zur Kenntnis des Styryl-Cumarons. *Dissert.* Bern (Prof. Tambor).

95. Oswald (Adolf). Gewinnung von 3,5-Dijodtyrosin aus Jodeiweiss. Gewinnung desselben aus Jodglidin. Zürich. Agr.-chem. Lab. des Polytechn. — *Zeitschr. physiol. Ch.* **71.** 200.

96. Pictet (Amé) et Gams (Alphonse). Synthèse de l'oxyberbérine. Genève. — *Comptes rendus* **152.** 1102.

97. Rekate (Hermann). Beitrag zur Chemie der Zinndoppelhalogenide und der Zinndialkyle. *Dissert.* Zürich (Prof. Pfeiffer).

98. Terlikowski (F.). L'étude de préparation et des propriétés de quelques perchlorates. *Thèse.* Genève (Dr Golblum).

99. Tschebotareff (Sophie). Versuche zur Synthese des Chromenols. *Dissert.* Bern (Prof. von Kostanecki).

100. Tschirch (A.) und Bromberger (H.). Ueber die Rinde von Rhamnus cathartica. Bern. Pharm. Inst. der Univ. — *Archiv der Pharm.* **249.** 218.

101. Werner (A.). Ueber den räumlichen Stellungswechsel bei Umsetzungen von raumisomeren Verbindungen. Zürich. Univ.-Lab. — *Berichte* **44.** 873.

102. Wiki (B.). Sur les rapports entre la constitution chimique et l'action physiologique des médicaments. Genève. Lab. de thérap. expér. de l'Univ. — *Revue méd. de la Suisse romande* **31.** 241.

103. Willstaetter (Richard) und Hug (Ernst). Isolierung des Chlorophylls. Zürich. Chem. Lab. des Polytechn. — *Annalen* **380.** 177.

104. Willstaetter (Richard) und Isler (Max). Vergleichende Untersuchung des Chlorophylls verschiedener Pflanzen. Zürich. Chem. Lab. des Polytechn. — *Annalen* **380.** 154.

105. Willstaetter (Richard) und Stoll (Arthur). Spaltung und Bildung von Chlorophyll. Zürich. Chem. Lab. des Polytechn. — *Annalen* **380.** 148.

Mai

106. Abelin (J.). Ueber eine neue Methode, das Salvarsan nachzuweisen. Bern. Med.-chem. und pharm. Inst. der Univ. — *Münchner med. Wochenschrift* **58.** 1002.

107. Albertini (Alberto). Ueber Cyan-Cyclaminane. *Dissert.* Genf (Dr Kaufmann).

108. Baudisch (Oskar). Ueber Nitrat- und Nitrit-Assimilation. Zürich. Chem. Univ.-Lab. — *Berichte* **44.** 1009.

109. Baume (Georges). Contribution à l'étude quantitative des mélanges gazeux. Genève. Lab. de ch. théorique de l'Univ. — *J. ch. phys.* **9.** 245.

110. Berner (Berta). Synthese des 4-Methoxy-2-Styrylcumarons. Synthetische Versuche in der Gruppe der Curcumins. *Dissert.* Bern (Prof. Tambor).

111. Berthoud (A). Théorie cinétique des gaz et thermodynamique. Neuchâtel. Lab. de ch. physique de l'Univ. — *J. ch. phys.* **9.** 352.

112. Besson (A. A.) Ueber das Vorkommen von Harzstoffen in Olivenölseife. Basel. Lab. des Verbandes schweiz. Konsumvereine. — *Seifenfabrikant* **1911** n° 9 und *Collegium* **1911.** 172.

113. Bleuler (Hanns). Ueber einige Derivate des Iso-Cumaranons. *Dissert.* Bern (Prof. Tambor).

114. Boubnoff (N.) et Guye (Ph. A.). Conditions de formation du chlorure de nitrosyle à basse température par la réaction de Gay-Lussac. Etude de la courbe de congélation du mélange binaire chlorure de nitrosyle et chlore. Genève. Lab. de ch. théorique de l'Univ. — *J. ch. phys.* **9.** 290.

115. Bromberger (Hersch). Pharmakochemische Untersuchungen über die Rinde von Rhamnus cathartica. *Dissert.* Bern (Prof. Tschirch).

116. Duperthuis (H.). Contribution à l'analyse des huiles. Berne. Lab. du service sanit. féd. — *Travaux ch. alim.* **2.** 65.

117. Jantsch (G.) und Ohl (A.). Zur Kenntnis der Verbindungen des Dysprosiums. Zürich. Chem. Univ.-Lab. — *Berichte* **44.** 1274.

118. Japhé (Helene). Zur Kenntnis der 2-Styryl-Cumarone. *Dissert.* Bern (Prof. von Kostanecki).

119. Kaiser (J. A.). Einführung in die quantitativ-qualitative chemische Analyse. St-Gallen.

120. Knapp (Th.). Der Einfluss von Guajakolderivaten auf die Ausscheidung der Glukuronsäure. Basel. — *Schweiz. Wochenschr.* **49.** 229. 245. 256.

121. Kohlschütter (V.). Chemische Wirkungen von Kanalstrahlen. Bern. — *Zeitschr. Elektroch.* **17.** 393.

122. Lorenz (G.), Hevesy (G. v.) und Wolff (E.). Beiträge zur Kenntnis der Natur der Metallnebel in Schmelzflüssen. Zürich. Lab. für Elektroch. des Polytechn. — *Zeitschr. physikal. Ch.* **76.** 732.

123. Mai (J.). Ueber Schwefelphosphorverbindungen. Bern. Anorg.-chem. Lab. der Univ. — *Berichte* **44.** 1229.

124. Meier (Edwin). Zur Kenntnis des Brasilins. *Dissert.* Bern (Prof. von Kostanecki).

125. Milobedska (Janina). Zur Kenntnis des Curcumins. *Dissert.* Bern (Prof. von Kostanecki).

126. Mooser (W.). Nachweis giftiger Ricinusbestandteile in Futtermitteln. Bern. Schweiz. agrik.-chem. Anstalt. — *Landw. Vers.-Stationen* **75.** 107.

127. Morgulew (Ophelia). Ueber Arsenvanadinmolybdate und eine freie Arsenvanadinmolybdänsäure. *Dissert.* Bern (Prof. Friedheim).

128. Neumann (M.). Synthèse du fluorane et du diméthyl-3.6-fluorane. *Thèse.* Genève (Dr Ferrario).

129. Oesterle (O. A.) und Sypkens-Toxopéus (W.). Ueber die Konstitution des Frangula-(Rheum-)Emodins. Bern. Pharm. Inst. der Univ. — *Archiv der Pharm.* **249.** 311.

130. Pfeiffer (P.). Die Alkylverbindungen der Stannoreihe. Zürich. Chem. Univ.-Lab. — *Berichte* **44.** 1269.

131. Pfeiffer (P.) und Matton (K.). Zur Kenntnis der Stilben-o-carbonsäuren. Zürich. Chem. Univ.-Lab. — *Berichte* **44.** 1113.

132. Pfeiffer (P.) und Sergiewskaja (S.). p-Amino-stilben. Zürich. Chem. Univ.-Lab. — *Berichte* **44.** 1107.

133. Reigrodski (Jakob). Zur Kenntnis des Oxyhydrochinons. *Dissert.* Bern (Prof. Tambor).

134. Rupe (H.) und Bürgin (J.). Ueber Curcuma-Oel. Synthese der p-Tolyl-methyl-äthyl-essigsäure. Basel. Univ.-Lab. — *Berichte* **44.** 1218.

135. Schoop (U.). Die Herstellung von Metallüberzügen nach dem Schoop'schen Spritzverfahren. Höngg (Zürich). — *Chem.-Zeitung* **35.** 477.

136. Steinmann (A.). Essai de l'argent à la pierre de touche. Genève. Bureau de contrôle des matières d'or et d'argent. — *Annales ch. anal.* **16.** 165.

137. Thöni (J.). Die Verwendung der quantitativen Präzipitinreaktion bei Honiguntersuchungen. Bern. Lab. des schweiz. Gesundheitsamtes. — *Mitt. Lebensmittelunters* **2.** 80.

138. Tunmann (O.). Beiträge zur angewandten Pflanzenmikrochemie. Zur Mikrochemie des Betulacamphers. Bern. — *Apotheker-Zeitung* **26.** 344.

139. Tunmann (O.). Der weitere Ausbau der Mikrosublimationsmethode und der Nachweis des Arbutins in Pflanzen. Bern. — *Ber. dtsch. pharm. Ges.* **21.** 312.

140. Werner (A.). New ideas on inorganic chemistry (New-York) Zürich.

Juin

141. Albonico (Albert). Action du courant alternatif sur quelques sels ferriques en solution. *Thèse.* Genève (Prof. Duparc).

142. Bach (A.). Zur Kenntnis der Reduktionsfermente. Reduktion der Nitrate duch das System Perhydridase-Aldehyd-Wasser. Genf. Privatlab. — *Biochem. Zeitschr.* **33.** 282.

143. Bamberger (Eug.) und Ham (W.). Ueber das Verhalten einiger parasubstituierter Nitrosobenzole gegen konz. Schwefelsäure. Zürich. Anal.-chem. Lab. des Polytechn. — *Annalen* **382.** 82.

144. Battelli (F.) und Stern (L.). Zur Kenntnis des Pneins. Genf. Physiol. Inst. der Univ. — *Biochem. Zeitschr.* **33.** 315.

145. Baume (Georges) et Perrot (F. Louis). Courbes de fusibilité des mélanges gazeux : systèmes formés par l'anhydride carbonique et l'acide sulfhydrique avec l'alcool méthylique et l'oxyde de méthyle. Genève. — *Comptes rendus* **152.** 1763.

146. Briner (E.). Ueber das Kriterium der Bildung einer Verbindung durch Kondensation zweier Gase. Genf. Lab. de ch. physique de l'Univ. — *Zeitsch. physikal. Ch.* **77.** 245.

147. Enz (H.). Zum Nachweis des Thujons im Absinth. Bern. — *Schweiz. Wochenschr.* **49.** 337.

148. Ferrario (E.). Sur la phénoxthine. Genève. Lab. de ch. org. et inorg. — *Bull. de la Soc. chimique* **9.** 536.

149. Gigon (Alfred). Ueber den Einfluss der Nahrungsaufnahme auf den Gaswechsel und Energieumsatz. Basel. Med. Klinik. — *Pflüger's Archiv* **140.** 509 und *Habilitationsschrift* Basel.

150. Gorska (Marie). Recherches sur la vitesse de réaction entre le chlorure ferrique et l'iodure de potassium. *Thèse.* Genève (Dr Golblum).

151. Grimm (A.). Sur quelques dérivés de la diphénylamine. *Thèse.* Genève (Dr Ferrario).

152. Gruner (Paul). Le processus radioactif de transformation. Berne. — *Archives des Sc. phys. et nat.* **31.** 509.

153. Hengeveld (Gérard). Conductibilité de quelques électrolytes ayant un ion commun avec le dissolvant. Volumétrie physico-chimique. Titration des métaux lourds par les sulfures. *Thèse.* Lausanne (Prof. Dutoit).

154. Holtz (Hendrik Coenraad). La composition des principaux minerais de platine de l'Oural. *Thèse.* Genève (Prof. Duparc).

155. Klein (L.). Nouveau mode de formation de l'indigo. *Thèse.* Genève (Dr Khotinski).

156. Kohlschütter (V.) und Sazanoff (P.). Zur Kenntnis der Metallnitrosoverbindungen. Bern. Anorg. Lab. — *Berichte* **44.** 1423.

157. Landolt (A.). Zur Unterscheidung natürlicher und künstlicher Fruchtäther. Chem. Lab. des Kantons Aargau. — *Chem.-Zeitung* **35.** 677. 687.

158. Lew-Itzkowitch (L.). Contribution à l'étude de la cinétique chimique. Etude sur l'ordre de réaction entre l'acide iodhydrique et l'acide chromique. *Thèse*. Genève (Dr Golblum).

159. Machline (Léon). Sur le bleu de diphénylamine. Sur quelques dérivés de l'acénaphtène. *Thèse*. Genève (Dr Ferrario).

160. Monnier (A.). Ueber die Analyse des Calciumcyanamids. Genf. — *Chem.-Zeitung* **35.** 601.

161. Oswald (Adolf). Hydrolyse des Jodeigonnatriums. Zürich. Agr.-chem. Lab. des Polytechn. — *Zeitschr.physiol. Ch.* **72.** 374.

162. Perrin (René). Contribution à la connaissance du groupe de l'acide diphénylacétique. *Thèse*. Fribourg (Prof. Bistrzycki).

163. Pfeiffer (P.). Die Pyridinverbindungen der Zinnhalogenide. Zürich. Chem. Univ.-Lab. — *Zeitschr. anorg. Ch.* **71.** 97.

164. Przeworski (Georg).Ueber die Konstitution der Verbindungen aus o-Diaminen und α-Oxysäuren. *Dissert.* Freiburg (Prof. Bistrzycki).

165. Ramseyer (Louis). Contribution à la connaissance de la composition de la houille. *Thèse*. Genève (Prof. Pictet).

166. Rostworoski (Stanislaus). Ueber tertiäre aromatische Aethersäuren und die Entcarbonylierungs-Bedingungen für diese und ähnliche Säuren. *Dissert.* Freiburg (Prof. Bistrzycki).

167. Spengler (Theodor). Synthèses dans le groupe de l'isoquinoline. *Thèse*. Genève (Prof. Pictet).

168. Szoton (Hanane). Contribution à l'étude des cyano-cyclaminanes. *Thèse*. Genève (Dr Kaufmann).

169. Tretiacoff (Michel). Action de l'hydrogène sélénié sur les diazoïques. *Thèse*. Genève (Dr Ferrario).

170. Verda (A.). Sur le dosage des acides volatils dans le vin. Lausanne. — *J. suisse de chimie* **49.** 340.

171. Wenger (Paul). Etude sur la solubilité des phosphates et arséniates ammoniaco-magnésiens et du phosphate ammoniaco-manganeux. *Thèse*. Genève (Prof. Duparc).

172. Werder. Zur Unterscheidung von Fruchtessenzen und künstlichen Fruchtäthern. Aarau. — *Schweiz. Wochenschr.* **49.** 385.

173. Wunder (M.) et Chéladzé (Mina). Etude critique de quelques méthodes de séparation de l'aluminium et du glucinium. Genève. Lab. de ch. anal. de l'Univ. — *Annales ch. anal.* **16.** 205.

174. Wunder (Max) et Jeanneret (B.). Sur l'action de l'acide phosphorique sirupeux sur divers alliages obtenus au four électrique. Genève. — *Comptes rendus* **152.** 1770.

Juillet

175. BACH (A.). Recherches sur les ferments réducteurs. Genève. — *Archives des Sc. phys. et nat.* **32.** 27.

176. BACH (A.) und SBARSKY (B.). Ueber das Verhalten der Phenolase gegen Säuren. Genf. Privatlab. und Univ.-Lab. — *Biochem. Zeitschr.* **34.** 473.

177. BAMBERGER (Eug.). Ueber o,o'-Azoxy-benzaldehyd. Zürich. Anal.-chem. Lab. des Polytechn. — *Berichte* **44.** 1966.

178. BARAGIOLA (W. J.). Weinfälschung. Zürich.

179. BATTELLI (F.) und STERN (L.). Wirkung des Trypsins auf die verschiedenen Oxydationsvorgänge in den Tiergeweben. Genf. Physiol. Inst. der Univ. — *Biochem. Zeitschr.* **34.** 263.

180. BESSON (A. A.). Zur Beurteilung der Tees. Basel. — *Chem.-Zeitung* **35.** 813. 830.

181. BURMANN (James). Sur le titrage physiologique des préparations galéniques de digitale d'après la méthode de Focke. — *J. suisse de chimie* **49.** 416.

182. CARDOSO (Ettore). Sur les densités des phases coexistantes (densités orthobares) et le diamètre de l'anhydride sulfureux au voisinage du point critique. Genève. — *Comptes rendus* **153.** 257.

183. FELLENBERG (Th. von). Viskositätsbestimmungen in Honig. Bern. Lab. des schweiz. Gesundheitsamtes. — *Mitt. Lebensmittelunters.* **2** 161.

184. FICHTER (Fr.). Die elektrochemischen Anlagen der chemischen Anstalt der Universität Basel. — *Zeitschr. Elektroch.* **17.** 518.

185. FIECHTER (A.). Ueber eine praktische Methode zur Reduktion des Kaliumplatinchlorids bei der Bestimmung des Kalis als Kaliumplatinchlorid. Basel. — *Zeitschr. anal. Ch.* **50.** 629.

186. GAILLARD (A. Th.). Contributions à l'étude de l'action bactéricide et antimicrobienne des vins et des boissons alcooliques. Lausanne. Lab. d'analyse de l'Univ. — *Travaux ch. alim.* **2.** 40, *J. suisse de chimie* **49.** 363 et *Thèse,* Lausanne (Prof. Seiler).

187. KARRER (Paul). Untersuchungen über Valenzisomerie beim Kobalt. *Dissert.* Zürich (Prof. Werner).

188. KAUFMANN (Adolf) und ALBERTINI (Alberto). Ueber Cyancyclaminane. Genf. Univ.-Lab. — *Berichte* **44.** 2052.

189. KAUFMANN (Adolf) und WIDMER (Robert). Ueber Cyancyclaminane. Synthese von Cinchoninsäuren. Genf. Univ.-Lab. — *Berichte* **44.** 2058.

190. Kloetzer (Karl). Ueber die Molekulargrösse von Komplexsalzen und Moleküladditionsverbindungen. *Dissert.* Zürich (Prof. Werner).

191. Mai (J.). Ueber Schwefelphosphorverbindungen. Synthesen mit gelbem Phosphor. Bern. Anorg.-chem. Lab. der Univ. — *Berichte* **44.** 1725.

192. Mellet (R.). Détermination exacte de la nicotine dans les tabacs et dans les plantes vertes de Nicotiana tabacum. Lausanne. Univ. — *J. suisse de chimie* **49.** 387.

193. Misner (Rudolf). A chininröl es bomlastermekeiröl; utobbiak elöallitasarol szintezis utjan. Genève. Lab. de ch. organique. — *Magyar Chem. Folyovrat* **17.** 103.

194. Müller (F.). Kritische Studien über alkoholfreie Weine des Handels. Basel. — *Schweiz. Wochenschr.* **49.** 397.

195. Oesterle (O. A.) und Sypkens-Toxopéus (W.). Ueber Frangula-(Rheum-) Emodin. Bern. Pharm. Inst. der Univ. — *Schweiz. Wochenschr.* **49.** 353. 369.

196. Oswald (Adolf). Zur Darstellung von β-Jodindol. Zürich. Agr.-chem. Lab. des Polytechn. — *Zeitschr. physiol. Ch.* **73.** 128.

197. Philippe (E.) und Fellenberg (Th. von). Zur Arbeit von H. Enz über den Nachweis des Thujons im Absinth. Bern. — *Schweiz. Wochenschr.* **49.** 418.

198. Pictet (Amé) und Gams (Alfons). Synthese des Oxy-berberins. Genf. Organ. Lab. der Univ. — *Berichte* **44.** 2036.

199. Pictet (Amé) und Spengler (Theod.). Ueber die Bildung von Isochinolin-derivaten durch Einwirkung von Methylal auf Phenyl-äthylamin, Phenyl-alanin und Tyrosin. Genf. Organ. Lab. der Univ. — *Berichte* **44.** 2030.

200. Reverdin (Frédéric). Nitration des ortho-, méta- et paranitrobenzoyl-p-anisidines. Genève. — *Comptes rendus* **153.** 278.

201. Sbarsky (Boris). De l'influence des acides et des alcalis sur la phénolase et la peroxydase. *Thèse.* Genève (Bach).

202. Schmidlin (Julius). Erklärung für die Reaktion zwischen Chinon und Chlorwasserstoff. Zürich. Chem. Lab. des Polytechn. — *Berichte* **14.** 1700.

203. Tunmann (O.). Beiträge zur angewandten Pflanzenmikrochemie. Ueber den Nachweis und die Lokalisation des Andromedotoxins in Ericaceen. Bern. — *Apotheker-Zeitung* **26.** 555.

204. Wehrle (E.). Beitrag zur Kenntnis der Leberfunktionen. Basel. Allgem. Poliklinik. — *Biochem. Zeitschr.* **34.** 233.

205. Werner (A.). Zur Kenntnis des asymmetrischen Kobaltatoms. Zürich. Univ.-Lab. — *Berichte* **44.** 1887.

206. WEYRAUCH (Hans). Ueber synthetische Darstellung von β-Monoglyceriden. *Dissert.* Zürich (Dr Grün).

207. WILLSTÆTTER (Richard) und BROSSA (Alessandro). Ueber α-β-Dimethyllävulinsäure. Zürich. Chem. Lab. der techn. Hochschule. — *Berichte* **44.** 2191.

208. WILLSTÆTTER (Richard) und CRAMER (Carl). Ueber Anilinschwarz. Zürich. Chem. Lab. der techn. Hochschule. — *Berichte* **44.** 2162.

209. WILLSTÆTTER (Richard) und MÜLLER (Fritz). Zur Kenntnis der o-Chinone. Zürich. Chem. Lab. der techn. Hochschule. — *Berichte* **44.** 2171.

210. WILLSTÆTTER (Richard) und MÜLLER (Hans Eduard). Ueber Chlorderivate des Brenzcatechins und des o-Chinons. Zürich. Chem. Lab. der techn. Hochschule. — *Berichte* **44.** 2182.

211. WILLSTÆTTER (Richard) und UTZINGER (Max). Ueber die ersten Umwandlungen des Chlorophylls. Zürich. Chem. Lab. des Polytechn. — *Annalen* **382.** 129.

Août

212. BAUDISCH (Oskar). Quantitative Trennung mit Cupferron. Zürich. — *Chem.-Zeitung* **35.** 913.

213. BELLMER (Emil F.). Untersuchungen über die Radioaktivität einiger Mineralien und Gesteine. *Dissert.* Freiburg (Prof. Gockel).

214. BLAU (Heinrich). Beiträge zur Kenntnis der Saponine. *Dissert.* Zürich (Prof. Winterstein).

215. BORZUCHOWSKI (Stanislaus). Die Paarung der Benzilsäure mit einigen Halogenphenolen. *Dissert.* Freiburg (Prof. Bistrzycki).

216. JANTSCH (G.). Ueber die Doppelnitrate der seltenen Erden. *Habilitationsschrift.* Zürich.

217. INHELDER (Andreas). Beitrag zur Trennung des Antimons und Zinns und zur Analyse von Lagermetallen. *Dissert.* Zürich (Prof. Treadwell).

218. KUNZ (Wilhelm Richard). Vergleichung der gasvolumetrischen mit der titrimetrischen Bestimmung des im Wasser gelösten Sauerstoffs und Bestimmung des vom Zürichseewasser absorbierten Sauerstoffs. *Dissert.* Zürich (Prof. Treadwell).

219. LIECHTI (P.) und MOOSER (W.). Zur Bestimmung der Phenole im Rinderharn. Bern. Schweiz. agr.-chem. Anstalt. — *Zeitschr. physiol. Ch.* **73.** 365.

220. Oesterle (O. A.). Ueber die Beziehungen zwischen Chrysophansäure, Aloe-Emodin und Rheïn. Bern. Pharm. Inst. der Univ. — *Archiv der Pharm.* **249.** 445.

221. Ottiker (A.). Milchfälschungen. Zürich. — *Milch-Zeitung* **40.** 335.

222. Pfeiffer (P.). Beitrag zur Theorie der Halochromieerscheinungen. Zürich. Chem. Univ.-Lab. — *Annalen* **383.** 92.

223. Pictet (Amé) et Gams (Alphonse). Synthèse de la berbérine. Genève. — *Comptes rendus* **153.** 386.

224. Reichinstein (D.). Die chemische Polarisation der umkehrbaren elektrolytischen Elektrode. Zürich. — *Zeitschr. Elektroch.* **17.** 699.

225. Reverdin (Frédéric). Nitration des trois nitrobenzoyl-p-anisidines isomères. Genève. Lab. de ch. org. de l'Univ. — *Archives des Sc. phys. et nat.* **32.** 124.

226. Sobolewski (Stanislaw Wladyslaw). Die Kondensation von p-Tolilsäure mit zweiwertigen Phenolen und Alkyläthern derselben. *Dissert.* Freiburg (Prof. Bistrzycki).

227. Steinmann (A.). Etude critique sur les essais de platine. Genève. Bureau de contrôle des ouvrages d'or et d'argent. — *J. suisse de chimie* **49.** 441. 453.

228. Thommen (Hans). Untersuchungen über die Einwirkung von Chinonen auf Triphenylmethyl und über die Chlorierung der Phenyläthane. *Dissert.* Zürich (Dr Schmidlin).

229. Trier (Georg). Aminoaethylalkohol, ein Produkt der Hydrolyse des Lecithins (Phosphatids) der Bohnensamen. Zürich. Agr.-chem. Lab. des Polytechn. — *Z. physiol. Ch.* **73.** 383.

230. Tschirch (A.). Terminologie und Systematik im pharmakologischen Systeme der Drogen, speziell in der Kohlehydratgruppe. Bern. — *Schweiz. Wochenschr.* **49.** 444 und *Ber. dtsch. pharm. Ges.* **21.** 303.

231. Walter (Johann). Wasch- und Trockenflasche für Gase. Genf. — *Oesterr. Chem.-Zeitung* **29.** 117.

232. Werner (A.). Theorie der Valenz. Zürich. — *Zeitschr. Elektroch.* **17.** 601.

233. Zwetkow (Anna). Beitrag zur Kenntnis der Wirkung von Eisen und Arsenik als Mittel gegen die Chlorose. Bern. Med. Poliklinik der Univ. — *Zeitschr. exper. Pathol.* **9.** 393.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES A

L'OBSERVATOIRE DE GENÈVE

PENDANT LE MOIS

DE NOVEMBRE 1911

Le 2, rosée le soir.
3, gelée blanche le matin.
4, rosée le soir.
5, gelée blanche le matin ; pluie le soir.
6, pluie à 7 h. du matin.
7, gelée blanche le matin ; rosée le soir.
8, gelée blanche le matin ; pluie depuis 10 h. 30 m. du soir.
9, pluie abondante pendant tout le jour.
10, pluie jusqu'à 3 h. 15 m. du soir.
12, pluie depuis 5 h. du soir.
13, pluie dans la nuit et jusqu'à 9 h. 45 m. du matin, et à 1 h. du soir.
14, forte bise le matin.
17, gelée blanche le matin ; pluie depuis 10 h. du soir.
18, pluie dans la nuit, jusqu'à 8 h. du matin et depuis 4 h. 45 m. du soir.
19, grésil le matin ; pluie à 4 h. et à 7 h. du soir.
20, pluie dans la nuit, à 7 h. du matin et à 1 h. du soir.
24, pluie de 11 h. 20 m. à 1 h. 30 m. du soir.
27, pluie à 10 h. du matin.
28, pluie dans la nuit.

GENÈVE — NOVEMBRE 1911

Jour du mois	Pression atmosphérique 700mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 8 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Barographe Max.	Vent 7 h.	Vent 1 h.	Vent 9 h.	Dominant	Vit. moy. kil. h.	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moy. 6 obs.	Durée d'insolation	Pluie Hauteur 24 h.	Nombre d'heures
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm										h.	mm.	
1	31.5	31.1	31.2	31.22	+ 5.06	30.8	32.2	W. 0	NNW. 1	NNE. 1	var.	4.2	5	2	9	4	7.5	....	...
2	29.9	28.9	29.4	29.64	+ 3.48	28.1	31.0	NNE. 1	N. 1	NW. 0	var.	4.2	9	2	0	3	5.1	....	...
3	30.6	31.2	32.0	31.01	+ 4.86	29.8	32.2	NW. 0	WSW. 1	ENE. 1	calme	0.4	10	10	10	10	...	...	....
4	32.9	32.5	32.7	32.65	+ 6.49	32.0	33.7	WNW. 1	NW. 1	SW. 1	calme	0.8	10	3	4	5	4.5	...	....
5	30.7	29.0	28.2	29.81	+ 3.65	27.8	32.6	W. 0	SW. 1	SSW. 1	SW. 1	10.2	5	4	10	6	5.6	0.9	2
6	28.7	29.9	31.7	29.63	+ 3.47	27.6	33.1	SSW. 1	SSW. 1	SSW. 1	SSW. 1	8.2	10	4	2	5	4.2	0.4	1
7	32.9	31.7	31.3	31.95	+ 5.78	30.8	33.1	SSW. 1	NE. 1	SSW. 0	SSW. 1	2.9	1	1	0	1	8.8	....	....
8	29.6	27.0	24.6	27.78	+ 1.69	23.9	31.3	SSW. 1	WNW. 1	SSW. 1	calme	1.7	1	3	10	5	6.2	19.3	8
9	21.1	20.3	21.8	21.45	− 4.71	20.0	23.8	SW. 0	SSE. 1	S. 0	calme	1.1	10	10	10	10	....	**67.0**	**24**
10	23.9	25.2	26.7	24.71	− 1.49	22.5	26.9	SE. 1	ESE 1	ESE. 1	ESE. 1	1.9	10	10	10	9	....	9.6	9
11	28.3	28.3	27.8	28.00	+ 1.79	27.0	29.1	SSE 0	WSW. 1	SSW. 1	calme	1.7	10	0	0	3	4.6	....	....
12	26.1	24.8	25.0	25.49	− 0.73	24.2	27.6	SSW. 1	WNW. 0	WSW. 1	SSW. 1	3.8	10	10	10	10	0.2	5.8	8
13	27.1	28.9	33.0	28.96	+ 2.72	25.4	33.4	NW. 0	SW. 0	NNE 1	var.	3.6	10	10	5	9	...	1.5	4
14	35.0	35.9	35.6	35.15	+ 8.90	33.5	36.2	NNE. 3	NNE. 2	NNE. 1	NNE. 2	**18.5**	9	10	10	9	0.6	....	....
15	31.4	27.9	27.1	29.61	+ 3.31	26.3	35.0	ESE. 1	N. 1	W. 1	var.	2.1	10	1	8	7	6.3	....	....
16	27.9	27.5	26.6	27.33	+ 1.04	26.1	29.0	SSW. 1	SW. 1	SW. 0	SW. 1	5.9	2	5	0	3	6.8	....	....
17	23.2	20.2	16.7	21.02	− 5.29	15.6	26.0	SW. 0	SE. 0	W. 0	var.	2.5	6	10	9	7	2.6	17.1	9
18	14.3	8.3	6.0	**10.03**	**−16.31**	**4.2**	15.0	NNW. 1	SSW. 2	SSW. 3	SSW 1	10.6	10	8	10	8	3.7	6.8	5
19	8.6	10.5	12.8	10.16	−16.20	7.6	13.7	SSW. 2	SSW. 2	SSW. 2	SSW. 2	17.4	8	10	10	9	1.8	4.8	8
20	15.9	17.8	19.6	17.21	− 9.18	14.3	19.7	SSW. 2	SSW. 2	N. 1	SSW. 2	17.0	10	10	10	9	1.0	0.5	1
21	16.9	14.6	12.4	15.46	−10.95	11.8	19.6	NNW. 1	SSW. 1	SSW. 1	SSW. 1	8.2	10	9	10	10	1.3	....	....
22	10.8	10.2	11.5	10.95	−15.49	10.1	11.8	SSW. 2	WSW. 1	WSW. 1	var	7.9	9	9	7	10	1.4	....	...
23	11.7	13.5	14.7	12.88	−13.59	11.0	14.7	SSE. 0	WSW. 0	WSW. 0	calme	1.5	5	7	7	6	2.4	...	...
24	13.4	16.4	19.5	16.20	−10.30	13.3	19.8	SSW. 1	SW. 0	NNE. 0	var.	1.9	2	10	10	8	...	0.4	2
25	20.4	20.6	20.4	20.44	− 6.09	19.8	21.2	NNE. 0	NE. 1	SE. 1	SE. 1	2.3	10	10	10	10	....	...	....
26	20.9	21.7	24.0	21.88	− 4.69	20.2	24.1	NNE 1	SSW. 1	SSW. 1	SSW. 1	4.6	9	1	10	6	7.9	....	....
27	26.8	28.7	30.0	27.90	+ 1.30	24.5	30.1	WSW. 1	NW 1	SSE. 1	calme	1.1	9	10	10	9	....	1.8	4
28	30.7	31.3	33.6	31.71	+ 5.07	30.2	34.2	W. 0	NNW. 1	NNW 0	calme	0.8	9	9	7	9	1.7	....	....
29	35.6	35.8	36.2	**35.76**	**+ 9.09**	35.1	36.3	W. 1	N. 0	WNW. 0	calme	0.4	10	7	5	6	2.2	....	....
30	36.0	35.5	35.1	35.71	+ 9.03	34.9	**36.6**	W. 0	NNE. 0	NE. 1	var.	3.8	10	10	10	10	....	....	....
Mois	25.10	24.84	25.25	25.06	− 0.79							5.04	8.0	6.8	7.4	7.2	86.4	135.9	85

GENÈVE — NOVEMBRE 1911

Jour du mois	Température 7 h.	Température 1 h.	Température 9 h.	Température Moyenne 8 Observ.	Température Ecart avec la normale	Température Min.	Température Max.	Fraction de saturation en % 7 h.	Fraction de saturation en % 1 h.	Fraction de saturation en % 9 h.	Fraction de saturation en % Moyenne 8 Obs.	Fraction de saturation en % Ecart av. la norm.	Fraction de saturation en % Min.	Fraction de saturation en % Max.	Tempér. du Rhône Midi	Tempér. du Rhône Ecart avec la normale	Limnimètre
	°	°	°	°	°	°	°								°	°	mm.
1	+ 4.7	+12.4	+ 9.4	+ 8.65	+ 1.68	+ 4.5	+13.5	97	62	71	82	− 1	60	98	12.0	+ 0.3	1625
2	7.5	10.1	4.4	7.54	+ 0.75	3.0	11.5	83	70	97	81	− 2	70	97	12.2	+ 0.7	1625
3	1.1	7.2	7.4	4.87	− 1.74	0.3	8.1	100	96	96	98	+15	95	100	11.7	+ 0.3	1615
4	6.1	12.3	6.5	8.22	+ 1.78	5.4	14.5	96	72	92	89	+ 6	70	100	12.0	+ 0.7	1615
5	4.5	19.0	15.0	10.79	+ 4.53	2.8	**19.1**	93	29	40	63	−20	**26**	98	—	—	1615
6	10.5	14.7	7.1	11.21	+ 5.12	+ 4.8	14.9	84	46	69	63	−21	45	84	12.0	+ 1.0	1575
7	+ 0.5	9.1	2.7	4.63	− 1.29	− 0.2	10.0	92	49	85	70	−14	46	92	11.6	+ 0.7	1595
8	− 1.9	6.7	4.0	**3.03**	− **2.71**	− **2.3**	8.5	96	71	90	84	0	67	96	11.1	+ 0.4	1570
9	+ 4.5	5.7	5.8	5.04	− 0.53	+ 3.6	6.5	100	100	100	100	+**16**	98	100	11.0	+ 0.4	1615
10	3.4	2.6	2.1	3.36	− 2.04	1.5	5.7	100	100	100	100	+**16**	96	100	10.8	+ 0.3	1675
11	+ 4.7	9.4	1.7	4.14	− 1.10	+ 0.5	11.0	100	84	96	91	+ 7	52	100	10.8	+ 0.5	1670
12	− 0.1	6.8	8.1	4.57	− 0.50	− 0.9	10.9	97	75	75	80	− 4	35	98	—	—	1665
13	+ 4.8	7.3	7.5	6.04	+ 1.13	+ 4.7	8.0	93	85	70	86	+ 2	68	95	10.6	+ 0.5	1685
14	7.2	8.8	8.3	7.79	+ 3.05	6.6	9.6	78	73	72	73	−11	65	85	10.3	+ 0.3	1675
15	4.8	9.4	9.0	7.29	+ 2.71	4.2	11.9	92	70	74	81	− 3	41	92	10.5	+ 0.7	1665
16	8.3	14.4	6.3	9.69	+ 5.27	3.2	14.6	71	44	84	67	−17	42	90	10.6	+ 0.9	1665
17	1.7	9.1	9.6	6.06	+ 1.80	1.0	10.8	93	72	70	81	− 3	68	95	10.3	+ 0.7	1665
18	6.8	10.9	7.4	8.54	+ 4.44	5.8	11.7	94	57	81	77	− 7	57	95	10.4	+ 1.0	1680
19	5.5	7.0	4.8	5.80	+ 1.85	3.5	8.8	66	56	84	71	−13	45	90	—	—	1645
20	5.4	7.0	6.6	6.16	+ 2.37	4.0	8.2	82	77	78	80	− 4	75	91	6.8	− 2.4	1620
21	6.2	13.1	12.6	9.34	+ 5.70	4.8	13.6	81	53	55	68	−16	50	89	6.5	− 2.6	1650
22	12.9	15.9	8.8	**12.56**	+ **9.07**	8.0	17.2	57	45	82	**62**	−**22**	42	90	6.6	− 2.4	1690
23	8.3	12.0	6.6	8.74	+ 5.40	5.1	12.9	79	68	91	81	− 3	65	92	6.5	− 2.3	1675
24	4.0	7.6	7.6	6.38	+ 3.18	3.5	8.5	98	93	94	95	+10	88	100	7.0	− 1.7	1670
25	6.4	7.5	5.9	6.62	+ 3.56	5.0	7.9	91	82	91	89	+ 4	75	95	7.9	− 0.7	1695
26	5.8	13.4	7.6	7.85	+ 4.93	3.4	13.5	87	46	76	74	−11	45	95	—	—	1605
27	5.9	8.1	6.9	6.88	+ 4.10	5.4	8.6	91	83	91	87	+ 2	70	98	9.5	+ 1.1	1690
28	5.8	9.2	7.6	7.17	+ 4.53	5.2	10.0	99	74	89	90	+ 5	73	100	9.5	+ 1.2	1655
29	5.0	8.7	3.9	6.06	+ 3.55	2.5	10.5	96	83	98	93	+ 8	82	99	9.8	+ 1.6	1660
30	+ 4.9	+ 6.2	+ 4.7	+ 4.81	+ 2.43	+ 2.5	+ 7.4	100	85	89	93	+ 8	80	100	9.5	+ 1.4	1675
Mois	+ 5.06	+ 9.72	+ 6.86	+ 6.99	+ 2.41	+ 3.38	+10.93	90	70	83	82	− 1			9.90	+ 0.27	1640

MOYENNES DE GENÈVE. — NOVEMBRE 1911

Correction pour réduire la pression atmosphérique de Genève à la pesanteur normale : + 0mm.02. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 700mm +

	1 h. m.	4 h. m.	7 h. m.	10 h. m.	1 h. s.	4 h. s.	7 h. s.	10 h. s.	Moyennes
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1re déc.	29.32	29.02	29.18	29.61	28.69	28.25	28.78	29.01	28.98
2e »	23.77	23.57	23.79	23.92	23.00	22.52	22.71	23.08	23.30
3e »	22.36	22.30	22.32	23.21	22.84	22.85	23.50	23.75	22.89
Mois	25.15	24.96	25.10	25.58	24.84	24.54	25.00	25.28	25.06

Température.

	°	°	°	°	°	°	°	°	°
1re déc.	+ 5.48	+ 4.73	+ 4.06	+ 7.03	+ 9.98	+ 9.25	+ 7.26	+ 6.08	+ 6.73
2e »	5.34	4.71	4.61	6.57	9.01	8.57	7.49	6.56	6.61
3e »	6.41	6.03	6.52	8.00	10.17	9.35	7.81	6.84	7.64
Mois	+ 5.74	+ 5.16	+ 5.06	+ 7.20	+ 9.72	+ 9.06	+ 7.52	+ 6.49	+ 6.99

Fraction de saturation en %.

1re décade	87	91	94	80	69	73	83	85	83
2e »	83	86	87	78	69	69	77	81	79
3e »	88	89	88	83	71	76	84	87	83
Mois	86	89	90	80	70	72	81	84	82

Dans ce mois l'air a été calme 267 fois sur 1000.

Le rapport des vents $\frac{NNE}{SSW} = \frac{33}{66} = 0.50$

Moyennes des 3 observations (7h, 1h, 9h)

	mm
Pression atmosphérique........	25.06
Nébulosité	7.4
Température $\frac{7+1+9}{3}$ ..	+ 7°.21
Température $\frac{7+1+2\times 9}{4}$ ..	+ 7°.12
Fraction de saturation........	81 %

Valeurs normales du mois pour les éléments météorologiques, d'après Plantamour :

	mm
Press. atmosphér.. (1836-1875)	25.85
Nébulosité.. ..... (1847-1875).	7.8
Hauteur de pluie.. (1826-1875).	74mm.0
Nombre de jours de pluie. (id.).	11
Température moyenne ... (id.).	+ 4°.55
Fraction de saturat. (1849-1875).	83 %

Observations météorologiques faites dans le canton de Genève

Résultats des observations pluviométriques

Station	CÉLIGNY	COLLEX	CHAMBÉSY	CHATELAINE	SATIGNY	ATHENAZ	COMPESIÈRES
Hauteur d'eau en mm.	134.9	128.1	130.1	129.9	124.9	123.3	130.1

Station	VEYRIER	OBSERVATOIRE	COLOGNY	PUPLINGE	JUSSY	HERMANCE
Hauteur d'eau en mm.	122.8	135.9	127.6	114.6	129.1	131.7

Insolation à Jussy : 72 h. 1.

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

FAITES AU

GRAND SAINT-BERNARD

PENDANT LE MOIS

DE NOVEMBRE 1911

Le 8, fort vent.
9, vent très violent et neige.
10, neige et fort vent.
12, fort vent et neige.
13, violente bise et neige.
les 14 et 17, fort vent.
le 18, vent très violent et neige.
les 19 et 20, bise et neige.
21, 22, 23 et 24, neige et fort vent.
26, 27 et 28, fort vent.

GRAND SAINT-BERNARD — NOVEMBRE 1911

Jour du mois	Pression atmosphérique 500mm + 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Ecart av. la norm.	Barographe Min.	Barographe Max.	Vent 7 h.	1 h.	9 h.	Dominant	Nébulosité 7 h.	1 h.	9 h.	Moyenne 3 Obs.	Pluie Hauteur (24 h.)	Neige Hauteur (24 h.)
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.									mm.	cm.
1	67.6	67.6	67.8	67.7	+ 1.4	67.2	67.8	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	7	7	0	5	....	...
2	66.8	66.6	67.3	66.9	+ 3.7	66.6	67.4	SW. 1	SW. 1	NE. 1	SW. 1	0	0	0	0	....	...
3	67.5	68.1	69.1	68.2	+ 5.0	67.4	69.4	NE. 1	NE. 1	calme	NE. 1	5	1	0	2	...	...
4	69.7	70.0	70.6	70.1	+ 7.0	69.5	70.7	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	1	8	3	4	....	....
5	69.7	69.5	68.3	69.2	+ 6.2	67.8	70.1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	NE. 1	4	7	6	6	....	....
6	66.0	65.3	65.9	65.7	+ 2.7	65.2	67.7	NE. 1	NE. 1	NE. 2	NE. 1	10	10	10	10	....	....
7	66.0	65.7	66.0	65.9	+ 3.0	65.7	66.0	NE. 1	calme	NE. 1	NE. 1	7	0	0	2	...	....
8	65.0	64.6	63.1	64.3	+ 1.4	62.8	65.6	SW. 2	SW. 2	SW. 1	SW. 3	8	5	10	8	....	....
9	60.8	59.5	59.5	59.9	− 2.9	59.4	62.7	SW. 3	SW. 5	SW. 4	SW. 4	10	10	10	10	**33.8**	20
10	59.8	60.4	61.7	60.6	− 2.1	59.6	62.2	SW. 3	SW. 2	SW. 3	SW. 3	10	10	10	10	5.4	8
11	62.9	63.5	65.0	63.8	+ 1.1	62.3	65.0	NE. 1	NE 1	NE 1	NE. 1	0	0	0	0	...	....
12	65.1	64.6	63.3	64.3	+ 1.7	62.6	65.1	NE. 2	SW. 1	SW. 1	SW. 1	5	9	10	8	4.6	8
13	61.9	62.3	65.6	63.3	+ 0.7	61.9	67.8	NE. 1	NE. 4	NE. 4	NE. 3	10	10	10	10	10.0	10
14	69.7	71.3	70.9	70.6	+ 8.1	67.9	71.3	SW. 4	NE. 3	NE. 1	NE. 2	10	1	0	4	...	...
15	68.8	67.2	65.3	67.1	+ 4.6	64.8	70.0	SW. 1	SW. 1	NE. 1	SW 1	0	0	0	0	....	....
16	63.9	64.2	64.5	64.2	+ 1.7	63.9	64.7	NE. 1	NE. 2	calme	NE 1	1	2	0	1	....	..
17	62.9	61.5	57.8	60.7	− 1.7	56.2	64.0	SW. 1	SW. 1	SW. 3	SW. 2	1	8	10	6	....	....
18	53.6	50.7	46.8	50.4	−12.0	46.4	56.1	SW. 2	SW. 2	SW. 5	SW. 3	10	10	10	10	26.0	31
19	46.0	48.0	49.5	**47.8**	**−14.5**	**46.0**	51.0	NE. 1	NE 2	NE. 3	NE. 2	10	10	10	10	24.8	**34**
20	52.0	54.1	56.6	54.2	− 8.1	51.1	56.7	NE. 2	NE. 2	NE. 1	NE. 2	10	10	0	7	12.4	14
21	56.8	56.2	55.5	56.2	− 6.1	55.3	56.8	SW. 2	SW. 3	SW. 1	SW. 3	10	5	0	5	...	....
22	55.1	56.3	56.5	56.0	− 6.2	55.0	56.5	SW. 3	SW. 2	SW. 3	SW. 3	9	5	10	8	29.3	19
23	54.8	56.2	57.0	56.0	− 6.2	54.8	57.1	SW. 3	SW. 3	SW. 2	SW. 3	10	10	10	10	17.1	13
24	55.3	56.2	58.1	56.5	− 5.6	55.3	58.1	SW. 3	SW. 2	SW. 2	SW. 2	10	10	10	10	2.3	7
25	58.0	58.0	57.8	57.9	− 4.2	57.8	58.4	calme	NE. 1	NE. 1	NE. 1	10	5	10	8	...	....
26	59.0	60.5	63.8	61.1	− 1.0	58.5	64.6	SW. 1	SW. 2	SW. 1	SW. 1	3	3	10	5	....	....
27	65.4	66.9	68.5	66.9	+ 4.8	64.7	68.9	NE. 1	NE 1	SW. 3	NE. 1	10	8	10	9	...	...
28	69.2	69.7	70.8	69.9	+ 7.9	69.0	70.9	SW. 3	SW. 2	SW. 1	SW. 2	10	10	10	10	....	....
29	70.9	71.4	71.9	**71.4**	+ **9.4**	70.9	**71.9**	SW. 1	calme	NE. 1	var.	8	7	0	5	...	....
30	71.0	70.6	69.7	70.4	+ 8.4	69.5	71.8	NE. 1	calme	calme	calme	0	0	0	0	...	...
Mois	62.71	62.89	63.15	62.92	+ 0.89							6.6	6.0	5.6	6.1	165.7	164

GRAND SAINT-BERNARD — NOVEMBRE 1911

Jour du mois	Température 7 heures	Température 1 heure	Température 9 heures	Température Moyenne 3 Observ.	Température Écart avec la normale	Température Minimum	Température Maximum	Fraction de saturation en % 7 h.	Fraction de saturation en % 1 h.	Fraction de saturation en % 9 h.	Fraction de saturation en % Moyenne 3 Obs	Fraction de saturation en % Min.	Fraction de saturation en % Max.
	°	°	°	°	°	°	°						
1	– 2.6	+ 3.2	– 2.5	– 0.6	+ 2.6	– 3.6	+ 3.9	45	43	69	52	37	70
2	– 3.9	– 0.4	– 2.7	– 2.3	+ 1.0	– 4.1	1.4	70	69	81	73	61	83
3	– 0.6	+ 1.8	– 1.5	– 0.1	+ 3.3	– 1.8	3.0	56	49	65	57	43	71
4	– 1.6	2.2	+ 1.4	+ 0.7	+ 4.3	– 2.0	4.7	29	27	27	**28**	19	45
5	– 0.3	3.6	+ 1.6	+ **1.6**	+ **5.3**	– 0.6	**6.1**	28	42	62	44	22	66
6	– 0.1	+ 4.1	– 5.2	– 0.4	+ 3.5	– 7.1	+ 5.3	90	86	88	88	82	97
7	– 9.2	– 5.3	– 5.4	– 6.6	– **2.6**	– 9.4	– 3.6	85	45	50	60	33	93
8	– 7.6	– 5.0	– 6.6	– 6.4	– 2.3	– 7.8	– 4.2	89	71	89	83	67	96
9	– 6.2	– 5.8	– 5.6	– 5.9	– 1.7	– 6.8	– 5.3	88	89	88	88	86	94
10	– 4.8	– 3.5	– 4.9	– 4.4	0.0	– 5.4	– 2.8	87	86	84	86	81	92
11	– 8.4	– 3.7	– 8.7	– 6.9	– 2.4	– 8.9	– 2.6	84	84	59	76	40	88
12	– 6.4	– 5.9	– 7.0	– 6.4	– 1.8	– 7.8	– 4.1	38	60	83	60	**18**	86
13	– 6.4	– 5.6	– 7.2	– 6.4	– 1.6	– 7.3	– 4.2	87	86	86	86	85	92
14	– 2.2	– 0.2	– 1.6	– 1.3	+ 3.6	– 6.8	+ 0.8	85	77	64	75	57	85
15	– 1.0	+ 2.0	– 0.4	+ 0.2	+ 5.2	– 1.6	+ 4.2	53	40	45	46	36	59
16	– 4.2	– 3.2	– 2.8	– 3.4	+ 1.7	– 4.7	– 1.0	77	76	55	69	54	81
17	– 3.4	– 3.2	– 5.2	– 3.9	+ 1.4	– 5.8	– 2.2	64	77	90	77	58	95
18	– 6.0	– 5.2	– 6.6	– 6.0	– 0.6	– 7.4	– 4.5	89	89	86	88	85	96
19	– 8.6	– 6.5	– 9.0	– 8.0	– 2.5	– 9.4	– 5.3	84	77	83	81	73	94
20	– 8.6	– 6.6	– 8.6	– 8.0	– 2.4	– 8.8	– 6.0	83	83	76	81	72	87
21	– 2.6	– 0.7	– 5.2	– 2.8	+ 2.9	– 7.8	+ 0.8	89	62	82	78	53	94
22	+ 2.0	– 1.8	– 3.2	– 1.0	+ 4.8	– 4.1	+ 3.1	36	57	83	59	28	90
23	– 2.8	– 1.6	– 1.8	– 2.1	+ 3.8	– 3.0	– 0.8	91	91	79	87	78	97
24	– 2.8	– 1.8	– 3.4	– 2.7	+ 3.3	– 4.2	– 1.0	89	89	88	89	85	90
25	– 7.0	– 5.2	– 5.6	– 5.9	+ 0.2	– 7.6	– 2.8	82	82	88	84	79	91
26	– 9.2	– 6.6	– 7.2	– **7.7**	– 1.5	– **9.7**	– 6.0	82	83	86	84	78	86
27	– 6.7	– 5.4	– 4.9	– 5.7	+ 0.6	– 6.9	– 4.2	87	96	88	**90**	86	100
28	– 3.8	– 2.8	– 3.0	– 3.2	+ 3.2	– 4.1	– 1.6	88	88	88	88	85	94
29	– 4.8	– 2.0	– 5.4	– 4.1	+ 2.4	– 5.9	– 1.2	88	88	83	86	76	91
30	– 4.2	– 0.4	– 3.8	– 2.8	+ 3.8	– 5.2	+ 0.8	61	55	43	53	34	79
Mo.	– 4.47	– 2.38	– 4.40	– 3.75	+ 1.55	– 5.85	– 0.98	73	72	75	73		

MOYENNES DU GRAND SAINT-BERNARD. — NOVEMBRE 1911

Correction pour réduire la pression atmosphérique du Grand Saint-Bernard à la pesanteur normale : — 0mm.22. — Cette correction n'est pas appliquée dans les tableaux.

Pression atmosphérique : 500mm + / **Fraction de saturation en %**

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne
	mm	mm	mm	mm				
1re décade	65.89	65.73	65.96	65.86	67	61	70	66
2e »	60.68	60.74	60.53	60.64	74	75	73	74
3e »	61.55	62.20	62.96	62.24	79	79	81	80
Mois	62.71	62.89	63.15	62.92	73	72	75	73

Température.

	7 h. m.	1 h. s.	9 h. s.	Moyenne. $\frac{7+1+9}{3}$	Moyenne. $\frac{7+1+2\times 9}{4}$
	°	°	°	°	°
1re décade	— 3.69	— 0.51	— 3.14	— 2.45	— 2.62
2e »	— 5.52	— 3.81	— 5.71	— 5.01	— 5.19
3e »	— 4.19	— 2.83	— 4.35	— 3.79	— 3.93
Mois	— 4.47	— 2.38	— 4.40	— 3.75	— 3.91

Dans ce mois l'air a été calme 78 fois sur 1000.

Le rapport des vents $\frac{NE}{SW} = \frac{57}{104} = 0.55$

Pluie et neige dans le Val d'Entremont.

Station	Martigny-Ville	Orsières	Bourg-St-Pierre	St-Bernard
Eau en millimètres.....	65.6	41.1	65.8	165.7
Neige en centimètres.. .	—	—	17	164

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

ARCHIVES DES SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME TRENTE-DEUXIÈME

(4me PÉRIODE)

1911 — Nos 7 à 12

Compte rendu des séances de la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève

Compte rendu des séances de la Société vaudoise des Sciences naturelles, à Lausanne

Compte rendu des séances de la Société neuchâteloise des sciences naturelles

Compte rendu de la séance de la Société suisse de physique du 1er août 1911, à Soleure

Compte rendu de la séance de la Société suisse de chimie du 1er août 1911, à Soleure

Compte rendu des séances de la Société de Chimie de Genève

Compte rendu des séances de la Société vaudoise de Chimie

BULLETIN SCIENTIFIQUE

MATHÉMATIQUES

MÉTÉOROLOGIE

PHYSIQUE

PHYSIQUE DU GLOBE

CHIMIE

GÉOLOGIE

HYDROGRAPHIE

OBSERVATIONS MÉTEOROLOGIQUES

faites à Genève et au Grand Saint-Bernard

TABLE DES AUTEURS

POUR LES

ARCHIVES DES SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES

SUPPLÉMENT

A LA BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

ANNÉE 1911, Tomes XXXI et XXXII (Quatrième période)

A

B

C

D

E

F

Q

R

U

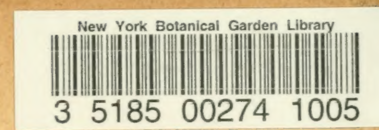
V

W

Y

Z

Société générale d'imprimerie, Pélisserie, 18, Genève.


New York Botanical Garden Library
3 5185 00274 1005

